

**Elektromyographische Befunde
an Atemmuskeln und ihre Beziehung
zu Atembewegungen**

von

WOLFGANG MICHL

München 1967



Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS DEM BALNEOLOGISCHEN INSTITUT DER
UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Vorstand: Professor Dr. H. v. Braunbehrens

ELEKTROMYOGRAPHISCHE BEFUNDE AN ATEMMUSKELN UND IHRE
BEZIEHUNG ZU ATEMBEWEGUNGEN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig - Maximilians - Universität
in München vorgelegt von

W o l f g a n g M i c h l

aus Eger

München 1967



Referent (Berichterstatter): Prof. Dr. H. v. Braunbehrens
Dekan: Prof. Dr. F. Holle
Tag der mündlichen Prüfung: 17. 10. 1967

Inhalt	Seite
A. Literatur	5
B. Fragestellung	8
C. Methodik	9
I. Registriertechnik	9
1. Registrierung der elektrischen Aktivität	9
a) Beschreibung der verwendeten Elektroden	9
b) Konstruktion einer neuen Sonden- elektrode	10
c) Anlegen der Elektroden	11
d) Verstärkersystem	12
2. Umfangregistrierung	12
3. Volumenregistrierung	13
4. Stellung und Lagerung der Versuchsperson	13
II. Methoden zur Auswertung der Ergebnisse	14
D. Ergebnisse der Auswertung	17
I. Elektromyographische Befunde bei Atembewegungen im Hinblick auf die Umfang- und Volumenmessung	17
1. Die Ruheatmung	17
2. Mittlere und forcierte Atembewegungen	18
a) Beziehung der Thoraxumfangänderung zur spirometrischen Volumenänderung	18
b) Elektromyographische Befunde bei mittleren und forcierten Atembewegungen	19
3. Das Zusammenspiel von Diaphragma und Intercostalmuskulatur im Hinblick auf den mechanischen Bewegungsablauf	26
4. Sakkadierende Inspiration und Expiration	27

	Seite
II. Untersuchung statischer und dynamischer Kräfte	28
1. Atemanhalten in verschiedenen Inspirationsstellungen	29
2. Elektrische Aktivität bei verschiedenen statischen Widerständen	29
3. Elektrische Aktivität bei Atembewegungen	30
4. Elektrische Aktivität bei Atembewegungen mit verschiedenem dynamischen Widerstand	31
a) mit definiertem vorgeschalteten Widerstand	31
b) mit Mund- und Nasenatmung	32
5. Elektrische Aktivität bei Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit	33
6. Elektrische Aktivität bei Lageänderung	36
a) Untersuchung über die Änderung der Atemruhelage bei Lagewechsel	36
b) Untersuchung der elektrischen Aktivität bei Lagewechsel	37
E. Diskussion der Ergebnisse	38
F. Zusammenfassung	57
G. Abbildungen	59
H. Literaturverzeichnis	89

A

L i t e r a t u r

Aus der historischen Betrachtung des Diaphragma als Atemmuskel geht hervor, daß Homer (800 v.Chr.) es noch als Sitz des Denkvermögens betrachtete, wogegen Hippokrates (400 v. Ch.) behauptete, daß diese Rolle ihm nicht zukomme, " es sei denn, wenn ein Mensch sich wider alles Erwarten übermäßig freut oder ärgert; dann zuckt es auf und macht Sprünge infolge seiner Feinheit und weil es sich im Körper am meisten in seiner Breite ausdehnt ". In unserem Jahrhundert hat in den letzten 20 Jahren vor allem die Elektromyographie einen Beitrag zum besseren Verständnis der Funktion der gesamten Atemmuskulatur geleistet. Über die Entwicklung der Elektromyographie zu berichten, die - um Beispiele zu nennen - über die zuckenden Froschschenkeln des Arztes GALVANI (1786) und die Benennung der bioelektrischen Erregungsäußerung als " Aktionsströme " durch LUDIMAR HERMANN (1867/68) ging, ist unmöglich; die Literatur, die seitdem über die Elektrophysiologie erschien, ist bereits zu umfangreich. Ebenso können in diesem Rahmen nicht die neuesten Erkenntnisse über Erregungsablauf und Änderung des Membranpotentials bei Erregung besprochen werden. Für das Verständnis der Aussagekraft des Aktionsstrombildes sei nur folgendes angeführt: Durch Ableitung mit Elektroden über der Erregungsstelle eines Muskels erhält man das Bild eines Aktionsstromes, der als eine elektrische Begleiterscheinung des Erregungsprozesses der Zelle anzusehen ist (nach SCHÜTZ). Die Aktionspotentiale lassen keinen direkten Schluß auf die Muskelkraft zu, sie sind jedoch mit ihr korreliert, da die Stärke der Muskelkontraktion einerseits durch die Frequenz der Entladungen einer einzelnen motorischen Einheit, andererseits durch die Anzahl der innervierten motorischen Einheiten bestimmt ist, wobei vor allem das letztere wichtig ist. Bei Ableitung einer stärkeren Kontraktion erhält man zu gleicher Zeit Aktionspotentiale von vielen Muskelfasern verschiedener motorischer Einheiten, also das Bild eines Interferenzmusters. In diesem gemischten Muster lassen sich nur die Potentiale unterscheiden,

die der Elektrode am nächsten liegen (BUCHTHAL 1958 (8)). Die Spannung des Muskelpotentials, d.h. die Amplitudenhöhe, ist eine Funktion der Anzahl sich synchron entladender Faserpotentiale, ebenso eine Funktion der Größe der motorischen Einheit und der Elektrodenlage (nach MÜLLER - SEIFERT (24)). Diese kurzen Ausführungen sollen zum besseren Verständnis dieser Arbeit genügen. Hinsichtlich der Verwendung von Oberflächen-elektroden spricht BASMAJIAN (4) von 2 Vorteilen, die ihre Benützung mit sich bringt: Bequeme Anwendbarkeit und wenig Unannehmlichkeit für die Versuchsperson. Nach BUCHTHAL können Oberflächen-elektroden für den Nachweis einer Aktivität und für die Untersuchung der zeitlichen Verhältnisse der Tätigkeit in den verschiedenen Muskelgruppen angewendet werden. DELHEZ 1961 (13) erzielte mit Nadelelektroden und Oberflächen-elektroden an der Atemmuskulatur ähnliche Ergebnisse. - Bei der Erfassung der elektrischen Aktivität des Diaphragma wurden bisher Nadelelektroden benützt, die die Aktivität im 11. ICR abgriffen. Auf diesem Wege fanden vor allem KOEPKE, MURPHY und seine Mitarbeiter 1958 und 1959 (21,25) brauchbare Ergebnisse. Seit etwa 1960 werden vor allem von PETIT, MILIC-EMILI und DELHEZ zur Registrierung der Diaphragma - Aktivität Oesophagus-Oberflächen-elektroden benützt, ähnlich wie bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit. Durch diese Art der Ableitung wird der vertebrale Diaphragma-Anteil erfaßt.

Allgemein fand LIPPOLD 1952 (23) am Skelettmuskel (Wadenmuskel) eine direkte Beziehung zwischen dem integrierten EMG und der Muskelanspannung und zwar sowohl bei isometrischen Kontraktionen, als auch - im Gegensatz zu IMMAN und dessen Mitarbeitern - bei isotonischen Kontraktionen. Weiter fanden BIGLAND und LIPPOLD 1954 a (6) einen Zusammenhang zwischen Kraft und Geschwindigkeit der Anspannung und integriertem EMG.

Speziell im Hinblick auf die Atemmuskulatur wurde die Interkostalmuskulatur bei Ruheatmung von JONES, BEARGIE und PAULY 1953 und 1957 (19,20) ebenso von CAMPBELL 1955 a (12) und KOEPKE und Mitarbeiter 1958 (21) untersucht; diese versuchten eine rhythmische Aktivität bei Ruheatmung

jeweils in verschiedenen Intercostalräumen zu registrieren. Es wurden stark abweichende Resultate gewonnen. Bei tieferer Inspiration wurde jedoch allgemein eine inspiratorische Aktivität registriert, wobei auch eine " Carry over-Aktivität " d.h. eine von der Inspiration in die passive Expiration reichende Aktivität beobachtet wurde.

Das Diaphragma zeigt bei Ruheatmung nach den Ergebnissen von KOEPKE und MURPHY 1958 und 1959 (21, 25) während der Inspiration Aktivität und zwar noch vor dem Einsetzen der Intercostalaktivität und der spirometrischen Volumenzunahme; weiterhin stellen KOEPKE und MURPHY beim Diaphragma eine Carry over - Aktivität im Anfangsteil der passiven Expiration fest, die in einer direkten Beziehung zur Tiefe der vorausgehenden Inspiration steht. Bei Messungen des intrathorakalen und intraabdominalen Druckes fanden PETIT, MILIC-EMILI und DELHEZ 1960 (26), daß sich die Aktivität des Diaphragma synchron mit den respiratorischen Änderungen des intrathorakalen und intraabdominalen Druckes ändert. Außerdem registrierten DELHEZ und seine Mitarbeiter im Gegensatz zu KOEPKE und MURPHY während forcierter Expiration Aktivität. CAMPBELL 1952 (9), sowie JONES und PAULY 1957 (20) stellten während der Ruheatmung einer Versuchsperson in Rückenlage keine rhythmische Aktivität in der Rectusmuskulatur und im M. obliquus abdominis fest. Sie beobachteten außerdem, daß diese Muskeln sich bei einer willkürlichen maximalen Expiration stark kontrahieren sowie gegen Ende einer maximalen Inspiration eine schwächere Kontraktion zeigen. Zum Problem statischer und dynamischer Kräfteänderungen bei Atemstellung und Atembewegung erschienen noch sehr wenig elektromyographische Beiträge. Eine systematische Untersuchung fehlt ganz. JONES und PAULY 1957 (20) beschrieben elektrische Aktivitätsänderungen unter verschiedenem statischen Expirationsdruck bei Intercostalmuskulatur, bei M. scaleni und seitlicher Bauchwandmuskulatur. Versuche über gleichartige Atembewegungen bei jeweils verschiedener Atemgeschwindigkeit wurden noch nicht unternommen. Ebenso wurde auch der Einfluß der Änderung der Körperlage auf die elektrische Aktivität mit Ausnahme eines Befundes von CAMPBELL und GREEN 1955 (11) noch nicht veröffentlicht.-

Eine synoptische Darstellung von Umfangänderung am Rumpf, spirometrischen Volumenänderungen und Elektromyogrammen an Atemmuskeln fehlt bisher in der Literatur noch ganz.

B

F r a g e s t e l l u n g

Die Entwicklung einer neuen Methode der fortlaufenden Umfangregistrierung an Brust und Bauch am Balneologischen Institut durch Kaiser, Drexel und Dirnagl ermöglichte die synchrone Registrierung von Umfangänderungen und von spirometrischen Volumenänderungen, sowie der Elektromyogramme von Atemmuskeln.- Auf Grund dieser neuen Möglichkeiten der Erfassung von Atembewegungen stellt sich im Rahmen der Physiologie der Atemmechanik folgende grundsätzliche Frage:

" In welcher Beziehung steht der Einsatz von Atemmuskeln zu einer Atembewegung ? " Sie ist von grundsätzlicher Bedeutung für die physikalische Therapie, speziell der Atemgymnastik.

Die Möglichkeit der Trennung der bei Atembewegungen auftretenden Kräfte in statische und dynamische und ihre Untersuchung mit elektromyographischen Methoden bildet die Voraussetzung für folgende Einzelfragen:

Wie reagiert die Atemmuskulatur gegenüber statischen Widerständen in Form von Expirationsdruck bzw. inspiratorischem Sog ? Und wie wirken sich statische, expiratorische Kräfte in einzelnen Inspirationsstellungen auf die elektrische Aktivität der Inspirationsmuskeln aus ?

Wie reagieren Atemmuskeln auf dynamische Widerstände, die in definierter Größe in den äußeren Atemweg eingeschaltet werden ? Lassen sich grundsätzliche Unterschiede zwischen Mund- und Nasenatmung feststellen ?

Lassen sich Geschwindigkeitsänderungen elektromyographisch erfassen und wie ändert sich der Einsatz der Atemmuskeln im Verlauf von Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit ?

Sind die Lageänderungen einer Versuchsperson elektromyographisch erfaßbar und in welcher Lage hat ein Muskel für

die Ausführung einer bestimmten Atembewegung vergleichbar mehr Energie zu leisten ?

Das Ziel dieser Arbeit soll daher sein, die elektromyographischen Befunde an Atemmuskeln in eine direkte Beziehung zu dem mechanischen Bewegungsablauf zu bringen und entsprechend den Möglichkeiten der Untersuchungsmethode auf einzelne Teilfragen näher einzugehen.

C

M e t h o d i k

Das Kapitel Methodik umfaßt zwei Abschnitte :

- I) Die Registriertechnik mit jeweils kurzer Beschreibung der Apparatur und ihrer Anwendung. Dazu gehören die elektromyographische Registrierung, die Umfangregistrierung an Brust und Bauch und die Volumenmessung durch das Spirometer; weiter wird kurz über die Lagerung der Versuchsperson bei Stellungswechsel berichtet.
- II) Die Beschreibung der Methode, die für die Auswertung der Ergebnisse angewendet wurde.

I.) Registriertechnik

1. Registrierung der elektrischen Aktivität :

a) Beschreibung der verwendeten Elektroden :

Bei der Ableitung der Intercostalmuskulatur, der Rectusmuskulatur und der seitlichen Bauchwandmuskulatur wurden Oberflächen Elektroden aus Silbermessing verwendet mit einem Durchmesser von 7 mm. Zur elektromyographischen Ableitung der Aktivität des Diaphragma fand zunächst eine bipolare Oberflächen Elektrode Verwendung. Diese wird ähnlich einer Sonde von der Versuchsperson geschluckt und liegt bei richtiger Lokalisation der Oesophaguswand in Höhe des Zwerchfells an. Sie erfährt bei Kontraktion des Diaphragma die elektrischen Erregungsäußerungen des vertebralen Teiles des Diaphragma. Die ableitende bipolare Elektrode an der Spitze der Sonde besteht aus einem iso-

lierenden Kunststoffzylinder von 31 mm Länge und 4 mm Durchmesser. Um diesen Zylinder ist im Abstand von 22 mm je eine ableitende ringförmige Platinelektrode von 1 mm Breite angebracht, deren ableitende, gegeneinander isolierte Drähte im Zylinder laufen, gemeinsam ihn verlassen, um - zusammen mit einer Kunststoffhülle versehen - mit dem Elektromyographen angeschlossen zu sein.

b) Konstruktion einer neuen Sondenelektrode :

Schon die ersten Versuche boten ein teilweise unbefriedigendes Ergebnis hinsichtlich der Qualität des vom Diaphragma abgeleiteten Aktionsstrombildes bei forcierten Atembewegungen. Das mit der beschriebenen bipolaren Elektrode erhaltene Aktionsstrombild zeigte vor allem bei maximalen Expirationsbewegungen eine sehr un stabile isoelektrische Linie, sodaß eine Bewertung der elektrischen Aktivität nicht möglich war. Diese Instabilität der isoelektrischen Linie mußte vor allem auf die Tatsache zurückgeführt werden, daß eine Fixation der Elektrode im Oesophagus unmöglich ist, wodurch eine größere Eigenbeweglichkeit der Sonde zustande kommt.- Nach den röntgenologischen Untersuchungen von DUBOIS und Mitarbeitern 1963 (17) bleibt die Lage der Sondenelektrode praktisch unverändert während Ruheatmung und maximaler Inspiration; dagegen erleiden die Elektroden während maximaler Expiration einen Anstieg ungefähr um die Höhe eines halben Wirbelkörpers.

Um eine größere Stabilität hinsichtlich der Lage der Sondenelektrode im Oesophagus zu erreichen, wurde erstens eine schwerere Elektrode angefertigt - was die Eigenbeweglichkeit bei maximaler Atembewegung einschränken sollte - zweitens die ableitende Fläche größer gestaltet; die als unipolare Elektrode konstruierte Oesophagussonde bestand aus einem Silberzylinder von 45 mm Länge und 4 mm Durchmesser. Die Gegenelektrode (8 cm² Fläche) wurde an der äußeren Haut mit Heftpflaster befestigt. Das mit dieser Elektrode erhaltene Aktionsstrombild zeichnete sich bei allen Atembewegungen durch eine stabile isoelektrische Linie aus; außerdem wurde im Gegensatz zur

vorher angewandten bipolaren Sondenelektrode auch bei forcierter Expiration ein deutlicher Aktivitätsanstieg registriert.

c) Das Anlegen der Elektroden:

aa) Auf das exakte Anlegen der Oberflächen-Elektroden wurde größter Wert gelegt, da es die Voraussetzung für die Vermeidung von Kontaktstörungen bildet. Nach der genauen Bestimmung der abzuleitenden Muskelstelle wurde zunächst die Hautoberfläche mit Aethylalkohol entfettet. Zur Verbesserung des Kontaktes zwischen Haut und Elektrode wurde eine Elektrodenpaste verwendet. Die Elektroden wurden mit Heftpflaster befestigt; dabei wurde zwar auf einen stabilen Sitz der Elektroden geachtet, jedoch ein zu starkes Andrücken vermieden, da hierdurch eine unbeabsichtigte Reizkontraktion ausgelöst werden kann. Die Erdung der Versuchsperson erfolgte über den Elektromyographen mit einer am Handgelenk angebrachten Erdungselektrode.

Die Intercostalmuskulatur wurde mit zwei aktiven Oberflächenelektroden, die jeweils in der Medioclavicularlinie in Höhe des 7. ICR befestigt waren, elektromyographisch erfaßt; somit wurden Mm. intercostales interni und externi gemeinsam abgeleitet. Die Abnahme der elektrischen Aktivität erfolgt in Höhe der oberen Flankenatmung. In der gleichen Höhe, etwa in Höhe der 6., 7. und 8. Rippe wurde die fortlaufende Thoraxumfangänderung registriert. Der M. rectus wurde mit zwei aktiven Oberflächenelektroden jeweils 2 cm oberhalb und 3 cm unterhalb der Nabelhöhe, die seitliche Bauchwandmuskulatur wurde jeweils 3 cm unterhalb der unteren Rippenbegrenzung und 2 cm seitlich des lateralen Randes des M. rectus abgegriffen. In dieser Ableitung wird somit der M. obliquus abdominis externus und internus, sowie der M. transversus abdominis bei Atembewegungen elektromyographisch gemeinsam erfaßt.

bb) Die Zwerchfellaktivität wurde mit der oben beschriebenen Sondenelektrode registriert. Diese Elektrode liegt der Oesophaguswand in Höhe des Zwerchfells an. Die Gegenelektrode wird an der äußeren Hautoberfläche angebracht, zweckmäßig in möglichst geringer Entfernung von der Sondenelek-

trode, da sich mit der Entfernung die auftretenden Störspannungen vergrößern. Eine Schwierigkeit bildete die Höhenlokalisation der Sonde im Oesophagus. Eine Röntgenkontrolle kann umgangen werden, indem durch langsames millimeterweises Verschieben der Sondenelektrode und gleichzeitige Beobachtung des Oszillographenschirms am Elektromyographen das punctum maximum der Ableitungsstelle festgestellt wird, das bei Ruheatmung die größten registrierten Potentialausschläge ergibt. Um ein Hinabgleiten der Sonde in Richtung Magen zu verhindern, wurde der abführende isolierte Elektrodendraht, der mit dem Verstärker verbunden ist, mit einem Heftpflaster am äußeren Mundwinkel befestigt.

d) Das Verstärkersystem:

Als Verstärkersystem der abgeleiteten Aktionsspannungen diente ein DISA - Elektromyograph. Die abgeleiteten Aktionsspannungen sind an einem Oszillographenschirm sichtbar, dessen Auflösungsvermögen so hoch ist, daß die einzelnen Aktionspotentiale nach Form, Dauer und Amplitude analysierbar sind. Der Oszillographenschirm ermöglichte vor allem die oben beschriebene Kontrolle zur genauen Höhenlokalisation der Sondenelektrode im Oesophagus. Die Arbeitsweise des DISA-Elektromyographen kann in der entsprechenden Bedienungsanleitung nachgelesen werden. Die Aufzeichnung des Aktionsstrombildes erfolgte durch einen 4-kanaligen Direktschreiber, der mit dem Verstärkersystem verbunden war. Beide Geräte wurden so eingestellt, daß eine möglichst verzerrungsfreie Wiedergabe des Potentialbildes zu erwarten war. Der Physioskript ermöglichte eine synchrone Registrierung zwischen dem Aktionsstrombild der abgeleiteten Atemmuskeln und der fortlaufenden Messung der Umfangänderung an Brust und Bauch, sowie dem spirometrisch gemessenen Atemvolumen.

2) Die Umfangregistrierung:

Zur fortlaufenden Registrierung der Umfangänderung an Brust und Bauch diente eine von K.Kaiser am hiesigen Balneologischen Institut entwickelte Apparatur, deren genaue Beschreibung dessen Dissertation enthält. Es sei daher nur soweit auf die Beschreibung der Apparatur eingegangen, als sie zum

besseren Verständnis der Ergebnisse der Arbeit dient: Die Apparatur wird zur fortlaufenden Messung der Umfangänderung jeweils an Brust und Bauch verwendet. In Höhe des zu messenden Umfangteils wird ein elastisches ca 27 mm breites Gummiband angelegt. Auf diesem Band sind bewegliche Rollen in einem Abstand von 25 mm befestigt; über diese läuft ein dünner Nylondraht annähernd reibungsfrei. Bei Änderung des Umfanges wird die entsprechende Längenänderung des Nylandrahtes über ein Potentiometer (Helipot) in Gleichstromspannungen umgewandelt und vom Physioskripten aufgezeichnet.-

Die Umfangmessung am Thorax erfolgt über der Basis des Schwertfortsatzes und erfährt dadurch nicht mehr die Bewegungen des epigastrischen Winkels. Dieser Bereich des Brustkorbes gehört nach der Atemfunktion der oberen Flankenatmung an, wenn man die Einteilung des Brustkorbes (nach LINDEMANN, TEIRICH-LEUBE, HEIPERTZ (22)) in Brustatmung (in der Höhe der 3. und 4. costa), obere Flankenatmung (über der Basis des Schwertfortsatzes) und untere Flankenatmung (über der Mitte des Epigastriums) übernimmt. In Höhe der Brustumfangmessung erfolgt auch die elektromyographische Ableitung der Inter-costalmuskulatur im 7. ICR.

Die Umfangmessung am Bauch erfolgt ca 3 cm über dem Beckenkamm. In der Höhe der Bauchumfangregistrierung wird der M. rectus und die seitliche Bauchwandmuskulatur abgeleitet.

3) Die Volumenregistrierung:

Die Registrierung der Volumenänderung durch ein Spirometer erfolgte in gleicher Weise durch Umwandlung der Volumenänderungen in Gleichstromspannungen; diese wurden ebenfalls vom Physioskripten aufgezeichnet. Das Fassungsvermögen der Spirometerglocke betrug 6 Liter. Das Spirometer besaß keinen CO₂-Absorber, es wurde deshalb nur für kurzdauernde Atemregistrierungen verwendet.

4) Stellung und Lagerung der Versuchsperson:

Besondere Beachtung wurde der richtigen Stellung und Lagerung der Versuchsperson geschenkt, da jede zufällige Muskelanspannung das Aktionsstrombild deutlich veränderte. Die Versuchsperson sollte also eine möglichst zwanglose Haltung ein-

nehmen. Soweit die Untersuchungen in Rückenlage ausgeführt wurden, war eine größtmögliche Entspannung der Atemmuskulatur in der Regel gesichert. Eine Kontrolle erlaubte z.B. die Beobachtung des Aktionsstrombildes am Oszillographenschirm. Da jedoch auch Versuche durchgeführt wurden, die eine Untersuchung bei Änderung der Körperstellung (Stehen, Liegen, Sitzen) beinhalten, war vor allem in aufrechter und sitzender Stellung eine völlige Entspannung nicht zu erreichen. Naturgemäß konnte z.B. die in aufrechter und sitzender Körperstellung auftretende Haltungsaktivität nicht unterdrückt werden. Bei Ruheatmung war eine Unterscheidung zwischen der Haltungsaktivität und der respiratorischen Aktivität möglich, da erstere gegenüber letzterer keinen rhythmischen Phasenablauf aufweist. Im einzelnen wurde bei Einnehmen der gewünschten Körperstellung folgendes beachtet: In aufrechter Körperhaltung wurde eine gerade Haltung des Oberkörpers bei zwanglos entspannt herabhängenden Armen eingenommen. In Rückenlage wurde der Kopfteil der Liege um ca 10° höher gestellt. Der Körper ruhte auf Schaumgummistreifen mit Ausnahme der ausgesparten Stellen an Brust und Bauch, an denen die fortlaufende Umfangmessung abgenommen wurde; die oberen Extremitäten lagen entspannt dem Körper an. In sitzender Stellung saß die Versuchsperson aufrecht mit locker herabhängenden Armen auf einem Hocker (ohne Lehne).

II. Methoden zur Auswertung der Ergebnisse :

Die Elektromyographie ermöglicht allgemein präzise zu bestimmen, wann derjenige Teil der Muskulatur, der von den Elektroden erfaßt wird, aktiv wird und wieder erschlaft. Außerdem kann aus der relativen Änderung der Aktivität auf den relativen Muskeleinsatz einer mechanischen Bewegung geschlossen werden. (JONES, BEARGIE, PAULY 1953) Für die Auswertung der Ergebnisse kommen zwei Methoden in Betracht, von denen die zweite in bestimmten Fragestellungen eine Ergänzung der ersten bringt:

- 1) Eine allgemein angewendete Möglichkeit für die Beurteilung und Auswertung des Aktionsstrombildes stellt die einfache Beobachtung der Potentialänderung dar; sie ist somit eine rein beschreibende Methode. Infolgedessen kann sich die Möglichkeit einer Beurteilung nur auf den Beginn elektrischer Aktivität, das Erreichen der größten Potentialhöhe und das Verlöschen der Aktivität beschränken.- Diese Art der Auswertung soll auch hier Verwendung finden, soweit sie eine Ergänzung der Ergebnisse aus der zweiten Methode darstellt.
- 2) Eine genauere Methode zur Beurteilung elektrischer Aktivität wurde im Verlauf der Untersuchungen entwickelt. Sie stellt eine Ergänzung und Erweiterung der beschreibenden Auswertung insofern dar, als sie nicht nur eine Aussage über den Zeitpunkt des Kontraktionsbeginns und des Erschlaffens eines Muskels erlaubt, sondern auch auf Grund der exakteren Beobachtung einer relativen Aktivitätsänderung auf eine Änderung der Muskelanspannung schließen läßt.- Weiter wird ein Vergleich der registrierten Aktivität zwischen mehreren Atembewegungen, die sich jedoch voneinander durch eine definierte Änderung statischer oder dynamischer Art unterscheiden, möglich.-
Die Amplitude des Aktionspotentials wird in eine direkte Beziehung gesetzt zu dem synchron registrierten, mechanischen Erfolg (z.B. Expirationsdruck, Volumen einer Atemstellung). Die Potentialhöhe wird als ein Durchschnittswert aus 15 - 20 Ausschlägen errechnet. Jedoch nicht nur die Aktivität bei isometrischen Anspannungen der Muskulatur kann auf diese Weise dargestellt werden, sondern auch die Aktivitätsänderungen bei Atembewegungen; zu möglichst vielen Atemstellungen einer Atembewegung wird die durchschnittliche Potentialhöhe bestimmt und zu dem in dieser Atemstellung bestehenden Atemvolumen in Beziehung gesetzt. Dieser Auswertungsmethode liegt die Beobachtung zugrunde, daß gleiche statische Kräfte (z.B. Expirationsdruck, Atemstellung) bei Wiederholung in kurzem Abstand annähernd die gleichen elektrischen Äußerungen der beteiligten Muskulatur hervorrufen.- Auch gleichartige Atembewegungen können somit verglichen werden, da diese immer analoge Atemstellungen durchlaufen, in denen jeweils gleichgroße

statische Widerstände herrschen. (Voraussetzung ist eine gleiche Atemgeschwindigkeit: siehe später) Die Beobachtung, daß gleiche statische Kräfte gleichgroße elektrische Änderungen der beteiligten Atemmuskeln hervorrufen, bedarf jedoch einer gewissen Einschränkung. Genaue Untersuchungen bei gleichen statischen Expirationsdrücken (siehe später), die hintereinander ausgeführt wurden, ergab eine Abweichung der Potentialhöhe von durchschnittlich 6 - 7 % bezogen auf die größte Potentialhöhe, im Einzelfall bis zu 20 %. Über die Abweichungen der Potentialhöhe bei Versuchen mit gleichen Atemlagen kann auf ähnliche Ergebnisse geschlossen werden; die Untersuchungen ließen sich jedoch nicht so präzise ausführen wie mit definierten statischen Expirationsdrücken. Da die statischen Kräfte unter gleichen Voraussetzungen immer konstant bleiben, müssen die genannten Abweichungen der registrierten Potentialhöhe auf eine mangelhafte Koordination der Synergisten und Antagonisten bei gleichem mechanischen Erfolg zurückzuführen sein. Um daher Aktivitätsabweichungen bei statischen und dynamischen Änderungen als charakteristisch für diese Änderung betrachten zu können, wurden nur solche Aktivitätsabweichungen für die Mittelwertsbildung herangezogen, die größer als 10 % der maximalen Potentialhöhe wären.

In den graphischen Darstellungen wurde die elektrische Aktivität zu dem mechanischen Erfolg in Beziehung gesetzt. Der mechanische Erfolg konnte eine Druckänderung oder eine Atembewegung sein; in diesem Fall wurde die Beziehung Aktivitätsänderung zu Volumensänderung untersucht. In speziellen Fällen wurde noch die Beziehung Aktivitätsänderung der Inter-costalmuskulatur zu Thoraxumfangänderung graphisch dargestellt; diese Beziehung war deshalb vorteilhaft, weil die elektrische Aktivität der Inter-costalmuskulatur in Höhe der fortlaufenden Thoraxumfangmessung abgenommen wurde und sich dadurch eine direkte Beziehung zu der Bewegungsänderung ergab.

Ergänzend sei über Aufgabe dieser Auswertungsmethode noch gesagt, daß sie keine absoluten Aussagen über die Größe einer Muskelkontraktion erbringen kann. Sie soll vielmehr durch das genauere Erfassen einer Aktivitätsänderung im

Sinne einer Zunahme, einem Gleichbleiben oder einer Abnahme der elektrischen Aktivität indirekt auf Zunahme, Gleichbleiben oder Abnahme einer Muskelanspannung schließen lassen.

D

Ergebnisse der Auswertung

Dieses Kapitel umfaßt zwei Abschnitte:

Der erste enthält allgemeine Befunde der elektrischen Aktivität an Intercostalmuskulatur, Diaphragma, M. rectus und seitlicher Bauchwandmuskulatur bei Atembewegungen im Hinblick auf die synchron registrierte Umfang- und Volumenmessung.

Der zweite legt die Ergebnisse spezieller Untersuchungen statischer und dynamischer Kräfteänderungen bei bestimmten Atemstellungen bzw. Atembewegungen dar. Die genaue Aufgliederung der Abschnitte ist der Inhaltsübersicht zu entnehmen.

I. Elektromyographische Befunde bei Atembewegungen im Hinblick auf die Umfang- und Volumenmessung.

Auswertung: Es wurden insgesamt 50 Versuche an 16 Versuchspersonen ausgeführt.

1.) Die Ruheatmung

In einem gewissen Bereich des Lungenvolumens bzw. des Thoraxumfanges zeigen weder die Intercostalmuskulatur noch das Diaphragma, noch M. rectus und seitliche Bauchwandmuskulatur eine elektrische Aktivität. Geht eine Atembewegung von dieser Atemruhelage aus, gleichgültig ob als Inspirations- oder Expirationsbewegung, so tritt mit der Entfernung von dieser Atemlage Aktivität in den untersuchten Muskeln auf. Diese Lage stimmt mit der Atemruhelage d.h. der Expirationslage der Ruheatmung überein.- Bei Ruheatmung zeigen die spiromographische Kurve und die Umfangregistrierung an Thorax und Bauch bei Inspirationbewegung einen kleinen ansteigenden Schenkel, der sich allmählich aus der Atemruhelage entwickelt, und einen absteigenden expiratorischen Schenkel, der allmählich in die Atemruhelage übergeht. Die untersuchten Atemmuskeln verhalten sich bei Ruheatmung verschieden; während das Diaphragma immer eine rhythmische Aktivität zeigt, d.h.

einen Anstieg der Aktivität während der Inspirationsbewegung und einen schnellen Abfall während der Expirationsbewegung, ist bei der Rectusmuskulatur und der seitlichen Bauchwandmuskulatur keine respiratorische Aktivität zu erkennen. Die Intercostalmuskulatur, die zwischen dem 6. - 8. ICR abgegriffen wurde, wies bei Ruheatmung Unterschiede in ihren elektromyographischen Befunden auf, die vor allem individueller Natur waren. Bei der Mehrzahl der Versuchspersonen (13) konnte eine inspiratorische, rhythmische Aktivität festgestellt werden, bei einigen wenigen Versuchspersonen (3) zeigte sich keine Aktivität.

2.) Mittlere und forcierte Atembewegungen:

Der Verlauf von Atembewegungen wird je nach Atemrichtung in eine passive und aktive Inspiration bzw. in eine passive und aktive Expiration eingeteilt. Die Atemruhelage bildet die Grenze zwischen aktiver und passiver Atembewegung (nach ROHRER (29)). Diese Einteilung ist zwar willkürlich, sie dient jedoch zur besseren Anschaulichkeit.

Bevor auf die elektromyographischen Befunde näher eingegangen wird, sollen noch Ergebnisse auf Grund einer Methode beschrieben werden, die eine gewisse Aussage über die relative Beteiligung der Intercostalmuskulatur und des Diaphragma am geförderten Atemvolumen während einer größeren Atembewegung erlaubt.

a) Die Beziehung der Thoraxumfangänderung zur spirometrischen Volumenänderung:

Auswertung: 7 Versuche an 6 Versuchspersonen.

Bei der Auswertung wird die Thoraxumfangänderung mittlerer und forcierter Atembewegungen mit der entsprechenden Volumenänderung in eine graphische Beziehung gesetzt. Dadurch wird eine Aussage über das Zusammenspiel bzw. der relativen Beteiligung des Brustkorbes (durch Erweiterung des Thoraxumfanges) und des Zwerchfells (durch Erweiterung des Brustraumes nach unten) ermöglicht. Die Atembewegungen zeigen folgende Gemeinsamkeiten:

Geht die Inspirationsbewegung von der Atemruhelage aus, so erfolgt bei mittleren und forcierten Inspirationen die Zunahme des Thoraxumfanges und der Volumenzunahme gleichzeitig.-

Geht die Inspiration von maximaler Expirationslage aus, so kommt es in der Regel zu einer relativ geringeren Thoraxumfangzunahme gegenüber einer relativ größeren Volumenzunahme während der passiven und des Anfangsteils der aktiven Inspiration. Dieser relativ flacheren Thoraxumfangzunahme folgt im Verlauf der aktiven Inspiration eine relativ steilere Zunahme. Dieser Abschnitt kann mehr oder weniger stark willkürlich verändert werden und zwar durch verschieden großen Einsatz entweder des thorakalen oder des diaphragmalen Atmens. Vor dem Erreichen der maximalen Inspirationslage kann der Thoraxumfang bisweilen wieder etwas weniger zunehmen (siehe Abb. 1). Während der passiven Expiration ist die anfängliche Thoraxumfangabnahme - gleichgültig in welcher Körperlage sie ausgeführt wird - im Verhältnis größer als die Zunahme während der Inspiration. Erreicht die passive Expirationsbewegung die Atemruhelage, so tritt wieder eine relativ geringere Thoraxumfangabnahme ein, die sich vor dem Erreichen der maximalen Expirationslage noch verstärkt.

Zusammenfassend finden wir also in der Nähe extremer Körperlagen, wie maximaler Inspirations-, vor allem aber maximaler Expirationsstellung eine relativ geringere Thoraxumfangänderung gegenüber einer relativ größeren Volumenänderung, was in diesen Bereichen für eine relativ größere Beteiligung der Zwerchfellbewegung am geförderten Atemvolumen spricht.

b) Elektromyographische Befunde bei mittleren und forcierten Atembewegungen:

Geht eine aktive Inspiration von der Atemruhelage aus, so kommt es noch vor dem Auftreten der Volumenzunahme, Thoraxumfang- und Bauchumfangzunahme zu einem Aktivitätsanstieg sowohl beim Diaphragma als auch bei der Intercostalmuskulatur. Die durchschnittliche Zeitdifferenz zwischen dem Aktivitätsbeginn und dem Beginn der Volumenzunahme bei 4 forcierten Inspirationen einer Versuchsperson ergab für das Diaphragma 0,42 sec und für die Intercostalmuskulatur 0,23 sec (siehe Tab. 1). In Abb. 2 wird die Änderung der elektrischen Aktivität pro Zeiteinheit zu Beginn einer forcierten Inspiration graphisch dargestellt. Die Zeit, in

der bereits eine Aktivitätssteigerung des Diaphragma und der Intercostalmuskulatur stattfindet, während noch keine Volumensänderung eingetreten ist, ist mit einer schwarz ausgezogenen Linie eingezeichnet.

Neben dem früheren Auftreten der Aktivität von Diaphragma und Intercostalmuskulatur vor der mechanischen Andeckung wird zusätzlich ein zeitlich verschiedenes Einsetzen zwischen der Aktivität des Diaphragma und der der Intercostalmuskulatur beobachtet und zwar tritt die Aktivität des Diaphragma durchschnittlich früher auf als die der Intercostalmuskulatur. Bei der oben erwähnten Versuchsperson beträgt die zeitliche Differenz durchschnittlich 0,19 sec. Tabelle 1 zeigt eine Untersuchung über das zeitlich verschiedene Einsetzen beider Atemmuskeln zueinander und in Bezug auf den mechanischen Beginn.- Die Mm. recti und die zeitliche Bauchwandmuskulatur zeigen zu Beginn der aktiven Inspiration in der Atemlage keinen oder nur sehr geringen Aktivitätsanstieg.

Tabelle 1

Die Tabelle zeigt zusammenfassend die zeitlichen Durchschnittswerte von 4 Inspirationen einer Versuchsperson, die sich aus dem verschiedenen Einsatz der Aktivität zur Thorax- bzw. Volumenänderung einerseits und andererseits aus dem verschiedenen Aktivitätseinsatz von Diaphragma und Intercostalmuskulatur zu Beginn einer aktiven Inspiration ergeben.

Beginn der elektrischen Aktivität

- | | | |
|----------------------|---------------------------|----------|
| a) des Diaphragma | vor der Volumenzunahme: | 0,42 sec |
| b) der Intercostalm. | vor der Volumenzunahme: | 0,23 sec |
| c) der Intercostalm. | vor der Thoraxumfangzun.: | 0,26 sec |
| d) des Diaphragma | vor der Interc.-Aktiv. | 0,19 sec |

Abb. 3 macht deutlich, daß mit steigendem Inspirationsvolumen bzw. Thoraxumfang die Aktivität des Diaphragma und der Intercostalmuskulatur zunimmt und zwar umso mehr, je mehr sich die Inspiration von der Atemruhelage entfernt. Weiter zeigt sich bei allen aktiven Inspirationen ein verschiedenes Ansteigen der Aktivität zwischen Intercostalmuskulatur und Diaphragma. Neben dem früheren Einsatz weist das Diaphragma gegenüber der Intercostalmuskulatur

in der Regel auch ein stärkeres Anwachsen der Aktivität im Anfangsteil einer aktiven Inspiration auf. Diese frühere und stärkere Zunahme der Diaphragmaaktivität wird sich bei aktiven Inspirationen, die aus tiefer Expirationsstellung hervorgehen, beobachtet.

Im weiteren Verlauf der aktiven Inspiration nimmt die elektrische Aktivität mit steigendem Inspirationsvolumen zu. Jedoch besteht zwischen Aktivitätsänderung und Volumensänderung keine lineare Beziehung.

Während der aktiven Inspiration erfährt die Bauchmuskulatur im Gegensatz zum Diaphragma nur einen geringen Aktivitätszuwachs. Erst gegen Ende der tiefen Inspiration nimmt dieser vermehrt zu. Dabei zeigt die Größe der Potentialhöhe gegen Ende der forcierten Inspiration eine Beziehung zum Ausmaß der Bauchumfangzunahme. Je größer die Dehnung der Bauchmuskulatur ist, desto größer ist auch die registrierte Aktivität (Siehe Abb. 4).

Die größte Aktivität bei allen genannten Atemmuskeln wird im letzten Drittel einer aktiven Inspiration bzw. knapp vor der Inspirationslage erreicht. Eine statistische Auswertung des Zeitpunktes, in dem je nach Tiefe einer Inspiration die größte Aktivität erreicht wird, bietet Tab.2.

Tabelle 2

Häufigkeitsauszählung für die Lage des Maximums der Aktionspotentiale im zeitlichen Ablauf einer Inspiration (113 beim Diaphragma und 130 Inspirationen bei der Interkostalmuskulatur von 13 Versuchspersonen)

	Diaphragma	Intercostalm.
Mittleres Drittel:	6 %	2 %
Letztes Drittel:	74 %	69 %
Übergang:letztes Drittel zur Inspirationsstellung:	20 %	30 %

Bis zum Erreichen der Inspirationsstellung bleibt die elektrische Aktivität bestehen oder sinkt nur geringfügig ab, je nach Dauer der Inspirationsstellung und Stellung der Stimmritzen.- Erreicht nämlich eine forcierte Atembewegung die Inspirationslage, so ändert sich das

Potentialbild grundlegend je nach der Stellung der Stimmritze.

Es gibt mehrere Möglichkeiten der Stellung der Stimmritzen:

- a) Die Inspirationslage wird willkürlich aufrecht erhalten (" Atemanhalten ")
 - aa) bei geöffneter Stimmritze
 - ab) bei geschlossener Stimmritze
- b) Die Inspirationslage geht sofort bei geöffneter Stimmritze in eine passive Expiration über.

ad aa): Wird der Atem bei offener Stimmritze angehalten, so bleibt die Aktivität, die zu Beginn der forcierten Inspirationsstellung erreicht wurde, aufrechterhalten.

ad ab): Wird die Stimmritze noch in Inspirationslage plötzlich geschlossen, so kommt es zu einem spontanen Potentialabfall aller beteiligten Atemmuskeln.

Infolge der vielen möglichen Zwischenstellungen von offener zu geschlossener Stimmritze erscheint je nach Stellung der Stimmritze eine verschieden große Aktivität.

Passive Expiration:

ad b) Geht die Inspirationslage bei geöffneter Stimmritze sofort in eine passive Expiration über, so beobachtet man noch während der Dauer der Inspirationsstellung eine Entspannung aller 4 Atemmuskeln, wie aus dem enormen Abfall der Potentialhöhe ersichtlich ist (Siehe Abb. 3 u. 4). Eine genauere Untersuchung über die Größe des Potentialabfalls bei konstanter Inspirationsstellung bis zum Beginn der Expirationsbewegung zeigt Tab. 3. Aus ihr ist ersichtlich, daß in der Mehrzahl der Fälle die Aktivität um $\frac{3}{4}$ und mehr der Potentialhöhe abnimmt, die zu Beginn der maximalen Inspirationsstellung registriert wurde. Die Untersuchung der Zeit, in der dieser Aktivitätsabfall bis zum Beginn der passiven Expirationsbewegung auftritt, ergibt bei 10 forcierten Inspirationen von 3 Versuchspersonen für das Diaphragma durchschnittlich 0,52 sec, für die Intercostralmuskulatur 0,73 sec, für die Rectusmuskulatur 0,89 sec und für die seitliche Bauchwandmuskulatur 0,86 sec (Siehe Tab. 4, Abb. 5). Daraus geht hervor, daß das

Diaphragma die größte Aktivität während der Inspirationslage durchschnittlich etwas länger beibehält als Inter-costalmuskulatur und Bauchmuskulatur.

Während des Beginns der passiven Expirationsbewegung nimmt die elektrische Aktivität bei allen 4 Atemmuskeln weiter ab und erlischt allmählich; jedoch ist hervorzuheben, daß auch zu Beginn der passiven Expirationsbewegung elektrische Aktivität vor allem bei der Inter-costalmuskulatur und beim Diaphragma zu finden ist, daß also ein " Hinüberreichen " der elektrischen Aktivität von der aktiven Inspiration in die passive Expiration besteht. Tab. 5 zeigt für die Inter-costalmuskulatur und das Diaphragma eine statistische Auswertung über die Größe dieses " Hinüberreichens " in die passive Expiration. Aus der Tabelle geht hervor, daß bei der Mehrzahl der Inspirationen die elektrische Aktivität bis zum Beginn des 2. Drittels der passiven Expiration erloschen bzw. eine Aktivität kaum zu registrieren ist. Weiter ist dieser Tabelle zu entnehmen, daß das " Hinüberreichen " der Aktivität umso geringer ist d.h. die Aktivität umso eher erlischt, je kleiner die vorausgehende aktive Inspiration ist.

Entsprechend der geringen Aktivitätszunahme der Bauchmuskulatur während der aktiven Inspiration sinkt gleich zu Beginn der passiven Expirationsbewegung die Aktivität auf minimale Werte ab.

Während des weiteren Verlaufs der passiven Expirationsbewegung wird bei allen 4 Atemmuskeln keine oder nur eine sehr geringe Aktivität registriert.

Aktive Expiration:

Mit größerer Entfernung von der Atemruhelage kommt es bei zunehmendem Expirationsvolumen wieder zu einem Potentialanstieg. Zwischen den einzelnen Atemmuskeln zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede in Beginn und Größe des Potentialanstieges. So setzt - im Gegensatz zum Beginn der aktiven Inspiration - die Aktivität der Inter-costalmuskulatur, sowie des M. rectus und der seitlichen Bauchwandmuskulatur früher ein und steigt in stärkerem Maße an als die des Diaphragma (Siehe Abb. 6')

Tabelle 3

Säurigkeitsauszählung für die Größe des Potentialabfalls während der Inspirationslage bis zum Beginn des passiven Expirationsbewegung. (114 Inspirationen beim Diaphragma und 129 bei der Intercostalmuskulatur von 13 Versuchspersonen)

	Diaphragma	Intercostalm.
0 - 1/4	2 %	0 %
1/4 - 1/2	6 %	5 %
1/2 - 3/4	24 %	25 %
3/4 - 4/4	68 %	70 %

Tabelle 4

Zusammenstellung der Zeitwerte für die Dauer des Potentialabfalles während der maximalen Endlage bis zum Einsetzen der passiven Atembewegung. (12 maximale Inspirationen und 12 Expirationen von 3 Versuchspersonen) Die Ergebnisse wurden anhand von graphischen Beziehungen : elektrische Aktivität / Volumen bzw. Thoraxumfangänderung gewonnen.

	Inspirationslage	Expirationsl.
Intercostalm. / Thoraxumf. :	0,80 sec	0,74 sec
Intercostalm. / Volumen :	0,73 sec	0,69 sec
Diaphragma / Volumen :	0,52 sec	0,78 sec
M. rectus / Volumen :	0,89 sec	0,70 sec
seitl. Bauchw. / Volumen :	0,86 sec	0,76 sec

Tabelle 5

Häufigkeitsauszählung über die Dauer der Carry over-Aktivität während der passiven Expiration (183 forcierte und 74 mittlere Inspirationen von 13 Versuchspersonen).

	Forcierte Inspiration		Mittlere Inspiration	
	Diaphragma	Intercostalm.	Diaphragma	Intercostalm.
a:	20,6 %	8,2 %	57,5 %	68,1 %
b:	68,0 %	77,6 %	40,0 %	29,5 %
c:	11,4 %	14,2 %	2,5 %	2,3 %

Bezeichnung:

Es wurde die passive Expiration (bis zur Atemruhelage) zur besseren Veranschaulichung bei der Auswertung willkürlich in 3 gleichgroße Abschnitte zerlegt.

- a: Verlöschen der Aktivität in Inspirationsstellung und während des Überganges zum ersten Drittel der passiven Expiration
- b: Verlöschen der Aktivität während des ersten Drittels und während des Überganges zum zweiten Drittel der passiven Expiration
- c: Verlöschen der Aktivität während des zweiten Drittels der passiven Expiration.

Während der aktiven Expiration nimmt die elektrische Aktivität der Interkostalmuskulatur und der Bauchwandmuskulatur mit steigendem Expirationsvolumen zu, jedoch besteht - wie bereits bei der aktiven Inspiration angeführt - auch bei der aktiven Expiration zwischen Aktivitätsänderung und Volumensänderung keine lineare Beziehung.

Das Diaphragma zeigt im Verlauf der aktiven Expiration gegenüber der Interkostalmuskulatur und Bauchwandmuskulatur eine relativ geringe Zunahme der Aktivität, die nur gegen Ende der forcierten Expiration eine etwas stärkere Zunahme erfährt. Die Aktivitätszunahme der Bauchmuskulatur scheint parallel mit der des Diaphragma einherzugehen.

Bei Erreichen der Expirationslage bzw. knapp vorher wird jeweils das Maximum der Aktivität erreicht. Während jedoch die Potentialhöhe der Interkostalmuskulatur sich in der Regel in der Größenordnung hält, die sie bei maximaler Inspiration erreicht hat, zeigt die elektrische Aktivität des Diaphragma und der Bauchmuskulatur in den beiden Endlagen ein entgegengesetztes Verhalten; und zwar ist die registrierte Aktivität der Bauchmuskulatur in maximaler Expirationslage viel größer als in maximaler Inspirationslage; dagegen erreicht das Diaphragma in maximaler Expirationslage bei weitem nicht die Aktivität, die es in maximaler Inspirationslage aufweist.

Passive Inspiration:

Noch während des Beibehaltens der maximalen Expirationsstellung, ersichtlich aus dem konstanten Volumen bzw. Thoraxumfang, kommt es zu einer Entspannung aller 4 Atemmuskeln, wie aus dem Abfall der Potentialhöhe ersichtlich ist (Siehe Abb. 64.9). Analog dem Vorgang bei maximaler Inspirationsstellung kommt es zu einem Potentialabfall von $\frac{3}{4}$ und mehr der Höhe, die zu Beginn der forcierten Expirationsstellung registriert wurde. Die Zeit, die zwischen Eintritt des Potentialabfalls und Beginn der passiven Inspirationsbewegung vergeht, wird durchschnittlich für die Interkostalmuskulatur 0,72 sec, das Diaphragma 0,78 sec

die Rectusmuskulatur 0,70 sec und für die seitliche Bauchwandmuskulatur 0,76 sec gemessen (siehe Tab. 4). Der Potentialabfall tritt demnach bei allen 4 Atemmuskeln ungefähr zum selben Zeitpunkt ein. In Abb. 8 wird der Beginn, die Dauer und die Größe des Potentialabfalls während einer maximalen Expirationsstellung anhand der graphischen Darstellung: Potentialabfall pro Zeit gezeigt. Kommt es zur passiven Inspirationsbewegung, so sinkt die elektrische Aktivität weiter auf minimale Werte ab, jedoch nimmt die Aktivität der Intercostalmuskulatur und der Bauchwandmuskulatur langsam ab im Gegensatz zum Diaphragma, das sofort seine Aktivität verliert. Es findet also auch während passiver Inspirationsbewegung bei Intercostal- und Bauchmuskulatur ein " Hinüberreichen " der Aktivität von der aktiven Expiration in die passive Inspiration statt. Erst mit dem Erreichen der Atemruhelage und dem Beginn der aktiven Inspiration steigt die Aktivität der untersuchten Atemmuskeln wieder an.

3.) Das Zusammenspiel von Diaphragma und Intercostalmuskulatur im Hinblick auf den mechanischen Bewegungsablauf.

Als Beispiel dient der Verlauf einer forcierten Inspiration aus maximaler Expirationslage bei einer 21jährigen gesunden Versuchsperson. Das Auswertungsergebnis zeigt in Abb. 9 verschiedene Kurven:

- a) Die linke ausgezogene Kurve stellt die Beziehung zwischen der Umfangänderung des Thorax in mm und dem Inspirationsvolumen in Liter dar. Deutlich kann man die Gliederung der Kurve in 3 Abschnitte erkennen:

Zu Beginn der Inspiration ist eine relativ kleine Umfangzunahme mit einer relativ großen Volumenzunahme verbunden; der steilere Anstieg zeigt eine große Umfangzunahme gegenüber einer kleinen Zunahme des Inspirationsvolumens; der dritte, wieder flacher ansteigende Abschnitt, zeigt wiederum eine kleine Umfangzunahme bei einer größeren Zunahme des Inspirationsvolumens.- Näheren Aufschluß über diese verschieden große Zunahme des Thoraxumfanges

gegenüber dem Atemvolumen gibt das verschiedene elektrische Verhalten von Diaphragma und Intercostalmuskulatur während der forcierten Inspiration.

- b) Das Diaphragma (gestrichelte Kurve) zeigt einen enormen Anstieg der Potentialhöhe gleich zu Beginn des Inspirationsvorganges. Es findet also eine starke Kontraktion des Diaphragma statt, was eine Erklärung für die große Volumenzunahme bei kleiner Thoraxumfangsteigerung ist. Die elektrische Aktivität des Diaphragma steigt dann weiter gleichmäßig an ; daraus läßt sich der Schluß auf eine gleichmäßige Zunahme der Stärke der Muskelkontraktion ziehen.
- c) Ein Vergleich mit der Intercostalmuskulatur läßt erkennen, daß dort entsprechend der geringen Thoraxumfangzunahme ein geringer Potentialzuwachs erfolgt, im zweiten Abschnitt jedoch eine große Potentialzunahme entsprechend der großen Umfangzunahme, im dritten wieder eine kleine Potentialzunahme entsprechend der geringen Umfangzunahme.

Durch diese Gegenüberstellung: elektrische Aktivität / Volumen und Thoraxumfang / Volumen finden wir also nicht nur eine weitgehende Korrelation zwischen Aktivitätsänderung und Bewegungsänderung, vielmehr lassen sich auch Aussagen über das Zusammenspiel von Diaphragma und Intercostalmuskulatur während einer Atembewegung machen.

4.) Sakkadierende Inspiration und Expiration:

Auswertungen: Es wurden 22 Versuche mit 14 Versuchspersonen ausgewertet. Bei dieser Atmung wird bewußt in die Gestaltung der Inspirations- bzw. Expirationsbewegung eingegriffen. Die Versuchsperson teilt eine In- oder Expiration durch kleine Atemstöße in einzelne Inspirations- oder Expirationsbewegungen auf. (saccade: französisch = ruckweise, stoßweise)

Im Verlauf einer aktiven Inspiration oder Expiration sind bei der Intercostalmuskulatur und beim Diaphragma synchrone Aktivitätsimpulse zu erkennen. Es treten

momentane Aktivitätssteigerungen auf, die sogleich wieder stark abnehmen bzw. verlöschen. Die Entladungen erreichen eine umso höhere Potentialhöhe, je größer der Abstand von der Atemruhelage ist (siehe Abb. 10) Die Entladungen treten jeweils deutlich schon vor dem Eintreten des mechanischen Erfolges d.h. der nächsten Thoraxumfang- bzw. Volumenzunahme auf. Da die Potentialhöhe bei diesen Impulsen beinahe vollständig wieder abnimmt, findet also nach jedem stärkeren Impuls eine stärkere Entspannung statt.- Bei einer normalen In- oder Expiration dagegen tritt eine nahezu gleichmäßige Aktivitätssteigerung ein.

M. rectus und seitliche Bauchwandmuskulatur wurden bei einer Versuchsperson untersucht.- Während der Inspirationsbewegung ist geringe Aktivität, jedoch keine Rhythmik zu erkennen. Während sakkadierender Expiration ist bei beiden Muskeln sowohl eine größere Aktivität als auch Rhythmik zu beobachten, jedoch nicht so ausgeprägt wie bei der Intercostalmuskulatur.

II. Untersuchung statischer und dynamischer Kräfte.

Der Einfluß statischer und dynamischer Kräfte auf die elektrische Aktivität der Atemmuskulatur wurde durch verschiedene äußere Eingriffe untersucht:

- 1.) die elektrische Aktivität in Inspirationsstellungen, die aktiv gegen statische, expiratorisch gerichtete Kräfte aufrecht erhalten werden.
- 2.) die elektrische Aktivität bei Änderung eines definierten statischen Widerstandes und zwar:
 - a) in tiefer Atemruhelage
 - b) in tiefer Inspirationsstellung
- 3.) die elektrische Aktivität bei aktiven Atembewegungen (s.o.)
- 4.) die elektrische Aktivität bei konstanter Atemgeschwindigkeit unter Vorschalten jeweils verschiedener definierter dynamischer Widerstände
- 5.) die elektrische Aktivität bei gleichartigen Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit
- 6.) die elektrische Aktivität bei Lageänderung.

1.) Atemanhalten in verschiedenen Inspirationsstellungen

Auswertungen: Diaphragma und Interkostalmuskulatur wurden in 4 Versuchen an 4 Versuchspersonen ausgewertet.

Ergebnis: Die isometrischen Kontraktionen des Diaphragma und der Interkostalmuskulatur in einzelnen Atemstellungen von der Ruhelage bis zur maximalen Inspirationslage rufen in den entsprechenden Atemstellungen einer mit normaler Geschwindigkeit ausgeführten tiefen Inspiration eine ungefähr gleich große Aktivität hervor (siehe Abb. 11) Jedenfalls lassen sich keine charakteristischen Unterschiede - im Rahmen der im Kapitel Methodik besprochenen Abweichungen der elektrischen Aktivität - feststellen.

2.) Die elektrische Aktivität bei verschiedenen statischen Widerständen

Auswertungen: 8 Versuche an 6 Versuchspersonen.

Bei den Untersuchungen der elektrischen Aktivität der Interkostalmuskulatur und des Diaphragma gegenüber statischen Widerständen mußte die Versuchsperson gegen eine mit einer Meßskala versehene Wassersäule einen expiratorischen Druck bzw. einen inspiratorischen Sog in abgestufter Stärke ausführen. Zu den einzelnen Druckstufen wurde die elektrische Aktivität des Diaphragma und der Interkostalmuskulatur bestimmt und in die graphische Beziehung: elektrische Aktivität / Druckänderung gebracht.

Ergebnis: (siehe Abb. 12a,b)

- a) Die elektrische Aktivität der Interkostalmuskulatur, der Bauchmuskulatur und des Diaphragma steigt sowohl bei steigendem Expirationsdruck als auch bei steigender Sogstärke an, dabei ergibt die graphische Darstellung eine annähernd lineare Beziehung zwischen Aktivitätsänderung und Druckänderung.
- b) Die Größe des elektrischen Aktivitätszuwachses unterscheidet sich bei den einzelnen Atemmuskeln in Bezug auf die Art des statischen Widerstandes, d.h. des Expirationsdruckes bzw. des Inspirationssoges.

- ba) Die Intercostalmuskulatur zeigt sowohl bei steigendem Expirationsdruck als auch steigendem Sog ungefähr ein gleiches Ansteigen der Aktivität.
- bb) Beim Diaphragma dagegen steigt die elektrische Aktivität mit steigendem Sog viel stärker an als mit steigendem Expirationsdruck.
- bc) Der M. rectus und die seitliche Bauchwandmuskulatur unterscheiden sich nicht wesentlich von einander. Die elektrische Aktivität bei steigendem Expirationsdruck wächst viel stärker an als bei steigendem Sog.
- c) Weiter besteht bei statischen Untersuchungen mit Expirationsdruck eine Abhängigkeit der elektrischen Aktivität von der inspiratorischen Ausgangslage: Führt z.B. eine Versuchsperson einmal einen Expirationsdruck in abgestufter Stärke in Atemruhelage, hierauf in gleicher Folge in maximaler Inspirationsstellung aus, so zeigen sich in der graphischen Beziehung : Änderung der elektrischen Aktivität zu Druckänderung zwei annähernd lineare Kurven mit verschieden großer Steigung. Und zwar nimmt die Aktivität mit wachsendem Expirationsdruck in Ruhelage bei allen registrierten Atemmuskeln, also bei der Intercostalmuskulatur, beim Diaphragma, beim M. rectus und der seitlichen Bauchwandmuskulatur viel stärker zu als bei den gleichen Druckänderungen in maximaler Inspirationsstellung (siehe Abb. 130b). Wird demnach ein statischer Expirationsdruck in maximaler Inspirationsstellung ausgeführt, so sinkt mit dem Einsetzen des Druckes die elektrische Aktivität des Diaphragma und der Intercostalmuskulatur sogleich stark ab, um mit steigendem Druck wieder an Aktivität zu gewinnen. Bei der Bauchmuskulatur steigt die in Inspirationsstellung vorhandene geringe Aktivität sofort mit einsetzendem Expirationsdruck an.

3. Die elektrische Aktivität bei Atembewegung

Bei den bisher angeführten Versuchen wurde die elektrische Aktivität isometrischer Kontraktionen bei Einwirkung verschiedener statischer Kräfte untersucht. Bei Atembewegungen kommen zusätzlich zu den statischen Kräften, die in jeder

Atemstellung - wie oben bereits dargelegt - eine bestimmte Größe innehaben, infolge des inneren Reibungswiderstandes und der Massenträgheit (RÖHRER) noch dynamische Kräfte. Über die wichtigsten Befunde wurde bereits berichtet. Wesentlich ist, daß die isometrischen Kontraktionen in einzelnen Atemstellungen von der Ruhelage bis zur maximalen Inspirationslage eine ungefähr gleichgroße Aktivität in entsprechenden Atemstellungen einer mit normaler Geschwindigkeit ausgeführten tiefen Inspiration hervorrufen.

4. Die elektrische Aktivität bei Atembewegungen mit verschiedenem dynamischen Widerstand

Auswertungen: Es wurden 5 Versuche an 4 Versuchspersonen ausgeführt.

Zu diesem Zweck wurden feinste Siebe, deren dynamischer Widerstand in mm Wassersäule pro Liter / min geeicht wurde, in den äußeren Atemweg eingebaut. Diese Siebe mit verschiedenem Widerstand 0,53, 0,87, 1,32 und 1,72 mm Wassersäule pro Liter/min waren jeweils auswechselbar. Zweckmäßigerweise wurden sie im Verbindungsschlauch zum Spirometer dazwischengeschaltet. Der Versuchsablauf war folgendermaßen: Die Versuchsperson führte jeweils unter Vorschalten eines anderen Widerstandes nach ca 5 ruhigen Atemzügen eine maximale Expiration aus, der sich eine mittlere oder forcierte Inspiration - nach Möglichkeit mit konstanter Atemgeschwindigkeit - anschloß. - In der Auswertung wurden die registrierten Atembewegungen wieder als graphische Beziehung: Intercoastalaktivität / Thoraxumfangänderung oder elektrische Aktivität / Volumenänderung dargestellt; bei letzterer Beziehung wurde für die einzelnen Registrierungen jeweils die maximale Expirationslage als Ausgangslage gewählt, um eine vergleichbare, graphische Darstellung der mit verschiedenen dynamischen Widerständen untersuchten Atembewegungen zu erhalten. Die Auswertung brachte folgendes Ergebnis:

- a) Sowohl die Intercoastalmuskulatur als auch das Diaphragma zeigten während aktiver Inspiration bei Zwischenschalten eines dynamischen Widerstandes eine Aktivitätssteigerung

gegenüber gleichartigen Atembewegungen ohne Widerstand (siehe Abb. 14a und b).

- b) Weiter fand sich eine deutliche Aktivitätsänderung innerhalb der verschiedenen Widerstände; je größer der vorgeschaltete Widerstand, desto größer war auch die in einer bestimmten Phase der Atembewegung registrierte Aktivität. In der Regel stieg bei Atembewegungen mit einem höheren vorgeschalteten Widerstand die Aktivität zu Beginn einer aktiven Inspiration früher und stärker an und erreichte auch eher ihren größten Wert.
- c) Auch bei aktiver Expiration zeigt die Intercostalmuskulatur, das Diaphragma in geringerem Umfang, eine Aktivitätssteigerung entsprechend dem vorgeschalteten dynamischen Widerstand (Abb. 14c und d)
- d) Während des ganzen Verlaufes einer passiven Expiration bzw. passiven Inspiration konnte bei Vorschalten größerer dynamischer Widerstände Aktivität festgestellt werden; diese ist normalerweise gegen Ende passiver Atembewegungen nicht zu registrieren.
- e) Eine direkte Beziehung zwischen Aktivitätssteigerung und Größe des dynamischen Widerstandes ließ sich jedoch nicht feststellen.
- f) Dynamische Widerstände wirken sich auch auf die Aktivität bei Ruheatmung aus. Je größer der vorgeschaltete dynamische Widerstand, desto größer ist die erhaltene Aktivität. Bei Vorschalten von 1,32 und 1,72 mm Wassersäule pro Liter/min wurde eine kontinuierliche Aktivität mit rhythmischem Anstieg bei Inspiration beobachtet.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurden noch Versuche zur Untersuchung physiologischer Widerstände angestellt, in denen an 3 Versuchspersonen Auswirkungen zwischen Mund- und Nasenatmung bei Ruheatmung geprüft wurden. Bei Nasenatmung ergab sich allgemein eine geringe inspiratorische Zunahme der Brust- und Bauchumfangbewegung, sowie eine Verlängerung der Atemzugdauer. Die bei einer Versuchsperson untersuchte elektrische Aktivität ergab bei Nasenatmung gegenüber Mundatmung für das Diaphragma eine Steigerung von 2 %, bei der Intercostalmuskulatur von 0,9 %

(in Bezug auf die Potentialhöhe bei maximaler Inspiration).
Diese Werte liegen noch innerhalb der möglichen Abweichungen (siehe Methodik).

5. Die elektrische Aktivität bei Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit

Auswertungen: Es wurden 7 Versuche an 4 Versuchspersonen
durchgeführt.

Den Untersuchungen von Atembewegungen mit konstanten dynamischen Widerständen schließen sich mittlere und forcierte Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit an; diese zeigen entsprechend der Geschwindigkeitsänderung einen verschiedenen dynamischen Widerstand (ROHRER). Ziel der Untersuchungen bildet die Feststellung der elektrischen Aktivität bei verschiedener Atemgeschwindigkeit.

Ergebnis:

- a) Mit steigender Inspirationsgeschwindigkeit verkürzt sich das zeitliche Intervall zwischen dem Einsatz der Zwerchfell- und Intercostalaktivität auf Grund von Messungen an 2 Versuchspersonen (siehe Tab.6)

Tabelle 6

Die Tabelle zeigt bei einer Versuchsperson das verschiedene Intervall des Aktivitätseinsatzes zwischen Diaphragma und Intercostalmuskulatur bei einer Folge von 4 forcierten Inspirationen mit verschiedener Geschwindigkeit in der ersten Sekunde der Inspiration.

Atemgeschwindigkeit	Zeitintervall
0,66 Liter/sec	0,3 sec
1,01 Liter/sec	0,2 sec
1,30 Liter/sec	0,15 sec
1,40 Liter/sec	0,09 sec

- b) Bei tiefer Inspiration, sowohl von der Atemruhelage als auch von maximaler Expirationslage ausgehend, erweist sich die Höhe des Potentialanstieges als abhängig von der Inspirationsgeschwindigkeit (gemessen wird die Inspirationsgeschwindigkeit in der ersten Sekunde). Eine größere Inspirationsgeschwindigkeit ist mit einer größeren Potentialhöhe gekoppelt. Diese Erscheinung zeigt sich sowohl beim Diaphragma als auch bei der

Intercostalmuskulatur, jedoch setzt - wie bereits erwähnt - der Potentialanstieg des Diaphragma früher ein als der der Intercostalmuskulatur.- Die Abb. 15 zeigt die Potentialhöhen (jeweils nach 0,3 sec vom Beginn des Potentialanstieges gerechnet) von 4 forcierten Inspirationen einer Versuchsperson mit verschiedener Inspirationsgeschwindigkeit in der 1. Sekunde. Setzt man die Potentialhöhen mit der entsprechenden Atemgeschwindigkeit der 4 Inspirationen graphisch in Beziehung, so ist eine deutliche Steigerung der Aktivität (nach 0,3 sec) bei größerer Inspirationsgeschwindigkeit zu erkennen.-

- c) Je größer die Geschwindigkeit der Inspiration ist, desto größer ist der weitere Potentialanstieg im ersten Drittel der aktiven Inspiration und desto flacher ist dann das weitere Ansteigen bis zur maximalen Inspirationslage. Bei Inspirationen mit kleinerer Geschwindigkeit kommt es daher anfänglich zu einem geringeren, später zu einem stärkeren Ansteigen der Aktivität; dagegen kommt es bei Inspirationen mit größerer Geschwindigkeit anfänglich zu einem stärkeren, später zu einem kleineren Ansteigen der Aktivität.- Es wird also umso mehr Energie zu Beginn der Inspiration aufgewendet, je größer die Inspirationsgeschwindigkeit wird (siehe Abb. 16a und b).
- d) Je größer die Expirationsgeschwindigkeit, desto eher kommt es zum Ansteigen der elektrischen Aktivität bei beiden Muskeln; jedoch tritt das Ansteigen bei der Intercostalmuskulatur eher ein und ist stärker (siehe Abb. 16c und d)
- e) Weiter entspricht einer größeren Expirationsgeschwindigkeit eine größere Aktivitätszunahme.-

Bei extrem hohen Atemgeschwindigkeiten z.B. Inspirations- bzw. Expirationsstoß zeigt sich in vielen Fällen das Maximum der Potentialhöhe schon vor oder zu Beginn des Atemstoßes.- Auf Atembewegungen mit dieser extremen Geschwindigkeit soll nun kurz eingegangen werden:

Inspirationsstoß:

Es kamen 65 Inspirationsstöße bei 13 Versuchspersonen in 23 Versuchen zur Auswertung.-

Tab. 7 zeigt die prozentuale Verteilung des Aktivitätseinsatzes zwischen Diaphragma und Intercostalmuskulatur bei normalen, tiefen Inspirationen und bei Inspirationsstößen. Danach ist bei Inspirationsstößen die Tendenz für ein gleichzeitiges Einsetzen der Aktivität beider Muskeln zu erkennen.-

Bei Inspirationsstößen wird vielfach schon knapp vor oder zu Beginn der Inspirationsbewegung von Diaphragma und Intercostalmuskulatur die größte Potentialhöhe erreicht; weiter ist das Erreichen der größten Potentialhöhe durchschnittlich in Richtung Inspirationsbeginn vorgeschoben. Die größte Potentialhöhe tritt bei der Intercostalmuskulatur in der Regel später d.h. in einer größeren Inspirationsstellung als beim Zwerchfell auf.

Tabelle 7

Es wird die prozentuale Verteilung des Einsatzes der elektrischen Aktivität zwischen Diaphragma und Intercostalmuskulatur bei normalen tiefen Inspirationen und bei Inspirationsstößen untersucht (110 tiefe Inspirationen und 52 Inspirationsstöße).

Beginn der Aktivität des Diaphragma zu der der Intercostalmuskulatur:

	T i e f e I n s p i r a t i o n e n	
	mittlere Geschwindigk.	Inspirations- stoß

eher :	64,5 %	43,7 %
gleichz.:	34,5 %	53,2 %
später :	1,0 %	3,1 %

Expirationsstoß:

Auswertung: 19 Versuche bei 12 Versuchspersonen

Vielfach wird die größte Potentialhöhe - ähnlich wie beim Inspirationsstoß - von der Intercostalmuskulatur schon zu Beginn der Expirationsbewegung erzielt. Bei beiden Muskeln verschiebt sich das Erreichen der größten Potentialhöhe in Richtung Expirationsbeginn.

Allgemein zeigt ein Vergleich des Aktionsanstieges zwischen Inspirationen, die mit annähernd konstanter

Atemgeschwindigkeit unter Vorschalten verschiedener dynamischer Widerstände ausgeführt wurden, und Inspirationen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit folgende Erscheinung: Erstere lassen entsprechend dem dynamischen Widerstand ein mehr gleichmäßiges Ansteigen der Aktivität erkennen, während bei letzteren die Aktivität je nach Atemgeschwindigkeit schon im Anfangsteil der Inspiration stark zunimmt, um im weiteren Verlauf dann geringer anzusteigen.

6. Elektrische Aktivität bei Lageänderung

Auswertungen: Es wurden 12 Versuche an 10 Versuchspersonen ausgeführt.

Als Abschluß der Versuchsreihe sollen noch die komplexen, statischen Änderungen, die ein Wechsel der Körperlage bedingt, an mittleren und forcierten Atembewegungen untersucht werden. Bevor die elektromyographischen Befunde dargestellt werden, soll noch kurz auf die bei Ruheatmung auftretenden Umfangänderungen an Brust und Bauch bei Lagewechsel eingegangen werden.

a) Untersuchung über die Änderung der Atemruhelage bei Lagewechsel

Beim Übergang von aufrechter Körperhaltung in die Rückenlage verschiebt sich der Brustumfang der Atemruhelage in Richtung Inspiration, der Bauchumfang in Richtung Expiration. Beim Übergang von der Rückenlage in die sitzende Stellung bewegt sich der Brustumfang der Atemruhelage in Richtung Expiration, der Bauchumfang in Richtung Inspiration.-

Aufschluß über die durchschnittlichen Umfangänderungen bei Lagewechsel gibt Tab. 8.

Tabelle 8

Die Tabelle zeigt Durchschnittswerte der Umfangänderungen von 11 Versuchspersonen. Es wurde jeweils die Umfangdifferenz zwischen Expirationslage der Ruheatmung zweier verschiedener Körperlagen gemessen.

Stehen - Liegen:	Brustumfangzunahme:	2,5 cm
	Bauchumfangabnahme:	2,0 cm
Liegen - Sitzen:	Brustumfangabnahme:	0,6 cm
	Bauchumfangzunahme:	2,2 cm

b) Untersuchung der elektrischen Aktivität bei Lagewechsel

Es wurden Atembewegungen in jeweils verschiedener Körperstellung ausgeführt; die Registrierungen wurden als graphische Beziehungen : elektrische Aktivität / Volumenänderung bzw. elektrische Aktivität (Intercostalmuskulatur) / Thoraxumfangänderung dargestellt. Als konstante Bezugslage mußte jeweils die maximale Expirationslage dienen. Im einzelnen wirkte sich der Wechsel der Körperstellung folgendermaßen aus:

Aktive Inspiration:

Bei der Intercostalmuskulatur (Abb. 17a und b)

- 1.) tritt der Beginn bzw. der Anstieg der Aktivität in Rückenlage erst bei einem größeren Thoraxumfang auf als in aufrechter und sitzender Stellung.
- 2.) ist der Anstieg der Aktivität in Rückenlage geringer als in aufrechter und sitzender Stellung; in Rückenlage tritt erst im letzten Drittel der maximalen Inspiration ein stärkeres Ansteigen der Aktivität auf.
- 3.) wird in der Regel in Rückenlage die Potentialhöhe, die in aufrechter und sitzender Stellung registriert wird, nicht erreicht; sie ist nie größer.

Beim Diaphragma (Abb. 18)

- 1.) steigt die elektrische Aktivität in Rückenlage früher d.h. bei einem kleineren Reservevolumen an als in aufrechter Körperstellung
- 2.) ist jedoch das weitere Ansteigen der Aktivität in aufrechter Körperstellung größer als in Rückenlage
- 3.) wird in der Regel die größte Potentialhöhe in aufrechter Körperstellung erreicht.

Bei der Bauchmuskulatur (Abb. 17a)

ist zwischen Rectus-Muskulatur und seitlicher Bauchwandmuskulatur kein Unterschied in der registrierten Aktivität zu erkennen. Weiters kann man auch während der aktiven Inspiration keine charakteristischen Aktivitätsänderungen bei Lagewechsel beobachten. Das Ansteigen der Aktivität zeigt sich vielmehr abhängig von der Größe der Zwerchfellkontraktion.

Aktive Expiration:

Bei der Intercostalmuskulatur (Abb. 17b)

- 1.) ist in Rückenlage ein früheres Einsetzen der elektrischen Aktivität gegenüber der aufrechten und sitzenden Stellung zu verzeichnen
- 2.) steigt in Rückenlage die elektrische Aktivität gegenüber aufrechter und sitzender Stellung stärker an.

Beim Diaphragma

Können bei aktiver Expiration keine charakteristischen Änderungen der elektrischen Aktivität entsprechend der Körperstellung beobachtet werden. Die Größe der Aktivität zeigte sich vielmehr nur von der Tiefe der Expiration abhängig.

Bei der Bauchmuskulatur (Abb. 19b)

- 1.) setzt die elektrische Aktivität in aufrechter und sitzender Stellung früher ein als in Rückenlage
- 2.) wird ein stärkeres Ansteigen der Aktivität in aufrechter und sitzender Stellung gegenüber Rückenlage registriert
- 3.) ist die Potentialhöhe in maximaler Expirationsstellung bei aufrechter und sitzender Stellung größer als in Rückenlage.

E

D i s k u s s i o n

Atemruhelage und Ruheatmung:

In der Atemruhelage ist bei allen untersuchten Atemmuskeln keinerlei elektrische Aktivität zu finden, sie sind also vollständig erschlaft. Nach LINDEMANN, TEIRICH-LEUBE, HELPERTZ (22) stimmt diese Atemruhelage mit der Expirationslage der Ruheatmung überein; dies entspricht auch unserer Beobachtung. Nach ROHLER (29) ist die Atemruhelage diejenige Atemlage, die sich bei vollständiger Erschlaffung der Atemmuskeln einstellt und durch die passiven Kräfte des Atemsystems aufrecht erhalten wird. Z.B. steht der Brustkorb dann im Gleichgewicht, wenn das

Gewicht der Bauchdecke und Bauchorgane das Gewicht der Schulter- und Brustmuskeln (in aufrechter Stellung) und der elastische Zug der Lungen der Federkraft des Brustkorbes die Wage hält (nach BRAUS und ELZE (7)). Drei Ausnahmen wurden gefunden, bei denen auch in Atemruhelage Aktivität bei Diaphragma und Intercostalmuskulatur zu beobachten war:

- a) bei Vorschalten eines größeren dynamischen Widerstandes in den äußeren Atemweg; hier wurde bei Ruheatmung eine kontinuierliche Aktivität mit rhythmischem Anstieg bei Inspiration festgestellt. Die bei Atemruhelage registrierte Aktivität zeigt also, daß das Diaphragma und die Intercostalmuskulatur bei Vorschalten eines höheren dynamischen Widerstandes sich von vorn herein in einem höheren Kontraktionszustand gegenüber Normalruheatmung befindet.
- b) Wenn die Atemruhelage eine Durchgangslage einer forcierten Atembewegung bildet, läßt sich in ihr häufig geringe Aktivität registrieren. Die aktive Muskelanspannung setzt bereits schon kurz vor dem Erreichen der Atemruhelage ein.
- c) Aktivität kann bei Intercostal- und Bauchmuskulatur in aufrechter Körperhaltung beobachtet werden, da gegenüber der Rückenlage noch eine geringe Haltungsaktivität aufgebracht werden muß. Diese Aktivität zeigt jedoch keine Rhythmik.

In Ruheatmung läßt sich beim Diaphragma immer eine rhythmische Aktivität beobachten, beim M. rectus und der seitlichen Bauchmuskulatur nie. Die Intercostalmuskulatur, abgeleitet im 6.-9. ICR., zeigt einen unterschiedlichen Befund. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen KOEPKE 1958 (21) für das Diaphragma und CAMPBELL 1952 (9) für die Bauchmuskulatur. JONES, BEARGIE und PAULY 1953 und 1957 (19, 20), CAMPBELL 1955 a (12) und KOEPKE 1958 (21) fanden bei Untersuchungen der einzelnen ICR jeweils verschiedene Resultate. Eine derartige systematische Untersuchung wurde in der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt. Die Beobachtung der Aktivität

bei Ruheatmung wurde in Hinblick auf die Untersuchungen mit dynamischen Widerständen vorgenommen. Dabei kam es bei steigendem dynamischen Widerstand zu einer Vergrößerung der elektrischen Aktivität.

Bei der Ruheatmung muß der Widerstand Berücksichtigung finden, der durch das elastische Band, das ein Bestandteil der Thoraxumfangregistrierung ist, hervorgerufen wird. Die Größe seines Einflusses auf die elektrische Aktivität der Intercostalmuskulatur ist jedoch nicht genau festzustellen. Die Apparatur zur Umfangmessung wurde so angelegt, daß sie nach Möglichkeit für die Versuchsperson subjektiv kein Gefühl der Beengung verursachte.

Der Inspirationsbeginn:

Vor Beginn einer aktiven Inspiration findet eine isometrische Anspannung des Diaphragma und der Intercostalmuskulatur statt, die beim Diaphragma nach vorgenommenen Messungen 0,2 sec eher einsetzt als bei der Intercostalmuskulatur. Durch diese isometrische Anspannung vor der Atembewegung ändert sich der Gleichgewichtszustand, der in der Atemruhelage besteht, zu Gunsten der aktiven inspiratorischen Kräfte. Der energetisch höhere Zustand ermöglicht erst die Atembewegung. Wahrscheinlich spielt hier vor allem die Überwindung der Trägheitskräfte zu Beginn der Inspirationsbewegung eine Rolle; denn bei Messung von Inspirationen mit höherer Atemgeschwindigkeit nimmt die isometrische Anspannung zu (siehe Seite 33). Nach KOEPKE und Mitarbeiter 1958 (21) setzt die Zwerchfellkontraktion 0,25 sec vor dem Beginn der Volumenzunahme ein; KOEPKE registrierte die Aktivität des Zwerchfells im 11. ICR. mit Nadelelektroden.- Die Bauchmuskulatur zeigt dagegen zu Beginn der aktiven Inspiration keine respiratorische Aktivität; die sehr gering auftretende Aktivität in aufrechter Körperhaltung ist auf eine Haltungsarbeit zurückzuführen, da in Rückenlage die Bauchmuskulatur vollständig entspannt ist.

Die aktive Inspiration:

Während die Bauchwandmuskulatur im Anfangsteil der aktiven Inspiration eine sehr geringe Aktivitätssteigerung aufweist, ist dieselbe beim Diaphragma und der Intercostalmuskulatur bedeutend größer. Wie schon erwähnt, ist neben dem früheren Einsetzen auch ein stärkeres Ansteigen der Zwerchfellaktivität gegenüber der Intercostalaktivität zu beobachten. Dieses stärkere Ansteigen ist

- a) unabhängig von der benützten Sondenelektrode (das gleiche Ergebnis wird sowohl mit der unten beschriebenen bipolaren wie auch mit der unipolaren Sondenelektrode gewonnen)
- b) unabhängig vom Sitz der Intercostalelektroden, da im 7., 8., 9. und 10 ICR. die nämlichen Erscheinungen auftreten. Folgende Gründe können dafür als Ursachen diskutiert werden:
 - 1) durch eine stärkere Zwerchfellbeteiligung selbst bedingt; entweder befindet sich das Zwerchfell infolge des früheren Beginns der Kontraktion in jeder folgenden Inspirationsstellung bereits in einem größeren Kontraktionszustand oder das Zwerchfell ist zu Beginn der aktiven Inspiration relativ vermehrt am Inspirationsvolumen beteiligt. Eventuell können beide Möglichkeiten zutreffen: Dafür spricht erstens das nachgewiesene frühere Einsetzen der Zwerchfellaktivität, zweitens die in der graphischen Beziehung Thoraxumfangzunahme / Volumenzunahme (siehe Abb. 1) beobachtete relativ geringere Thoraxumfangzunahme gegenüber der relativ größeren Volumenzunahme während der passiven und dem Anfangsteil der aktiven Inspiration. Diese relativ größere Volumenzunahme könnte also durch die nachgewiesene relativ stärkere Zwerchfellbeteiligung verursacht sein.
 - 2) Auch technische Einflüsse müssen als Ursache für die relativ größere Steigerung der Zwerchfellaktivität erwogen werden. Gegen diese Möglichkeit spricht jedoch die Tatsache, daß sich bei Verwendung von zwei verschiedenen Elektrodentypen mit verschieden großer

Abgrifffläche im elektromyographischen Bild keine Unterschiede zeigen.-

Wichtig ist vor allem, daß bei forcierten Inspirationen auch Mm. recti und seitliche Bauchwandmuskulatur Aktivität zeigen, daher nicht vollkommen erschlafft sein können. Dies steht teilweise im Gegensatz zur bisherigen Lehrmeinung. Nach BENNINGHOFF-GOERTTLER (5) ist die " tiefe Inspiration nur möglich, wenn die Bauchdecken dabei entspannt werden ".- CAMPBELL 1953 b (10) spricht allgemein davon, daß die Kontraktion der Bauchmuskulatur einen die forcierte Inspiration begrenzenden Faktor darstellt. JONES und PAULY 1953 und 1957 (19,20) vertreten über die auftretende Aktivität der Bauchmuskulatur bei tiefer Inspiration folgende Ansicht: " Der Bauchumfang, der in einer Beziehung steht mit einer Kontraktionsstärke der Bauchmuskulatur, weist während der aktiven Inspiration durch das Herabwandern des Zwerchfells eine Zunahme auf. Die Bauchmuskeln müssen daher eine Dehnung erfahren. Da sich jedoch das Zwerchfell nur bei nachgebenden Bauchdecken in Richtung Inspiration bewegen kann, muß das Erscheinen der elektrischen Aktivität eine Antwort auf einen Dehnungsreflex sein. " Diese Auffassung kann jedoch nicht befriedigen; denn die Aktivität, die durch einen Dehnungsreflex hervorgerufen wird, besteht nur im Augenblick der Dehnungsänderung. Elektrische Aktivität der Bauchmuskulatur wird aber auch während der Dauer einer konstanten tieferen Inspirationslage (bei offener Stimmritze) registriert. Die später noch zu besprechenden Befunde über die Aktivität bei statischem Inspirationssog zeigen eine annähernd parallele Aktivitätszunahme zwischen Diaphragma und Bauchmuskulatur mit steigendem Sog, ohne daß es zu einer Dehnung der Bauchmuskulatur gekommen wäre. Sowohl eine forcierte Inspiration als auch ein definierter Inspirationssog können als inspiratorische Manöver betrachtet werden, wobei bei dem ersteren eine isotonische, bei dem letzteren eine isometrische Anspannung stattfindet. Die Tatsache, daß bei der Bauchmuskulatur auch in Atemruhelage entsprechend der Sogstärke eine zum Diaphragma annähernd parallel einhergehende Aktivität zu finden ist, spricht zumindest gegen einen

Dehnungsreflex als einzige Ursache der Bauchmuskelaktivität bei tieferer Inspiration.

Die elektrische Aktivität nimmt während der aktiven Inspiration nicht linear dem steigenden Volumen und Thoraxumfang zu; ihre Zunahme zeigt sich vielmehr abhängig von:

- a) der Größe dynamischer Widerstände, die in den äußeren Atemweg eingeschaltet werden
- b) der Inspirationsgeschwindigkeit
- c) der Lage der Versuchsperson während mittlerer und forcierter Inspirationen
- d) nicht genau faßbarer willkürlicher Anspannung der einzelnen Atemmuskeln; darauf wurde schon im Kapitel Methodik eingegangen. Eine gewisse Einsicht in die Beurteilung von Willküranspannungen des Diaphragma und der Intercostralmuskulatur ermöglicht die dargelegte Methode der Gegenüberstellung der Beziehung Thoraxumfang/Volumen und Aktivität (Diaphragma bzw. Intercostralmuskulatur) / Volumen.

Die Inspirationslage mittlerer und forcierter Inspirationen:

In der Inspirationslage sind bei offener Stimmritze sowohl Intercostralmuskulatur als auch Diaphragma je nach Tiefe der Inspiration stark angespannt, da mit der Entfernung von der Atemruhelage (nach RAUBER-KOPSCH (28)) auch die passiven expiratorischen Kräfte, wie der elastische Lungenzug, die Federkraft des Thorax und das Gewicht der Brust- und Bauchmuskeln für die Intercostralmuskulatur, sowie der intraabdominelle Druck und die Spannung der Bauchdecken für das Diaphragma einen größeren Energieaufwand fordert.- Hinzuzufügen ist, daß für die Versuchsperson die Beurteilung schwierig ist, wann die Stimmritze geöffnet und wann sie geschlossen ist. Es bedarf von Seiten der Versuchsperson einiger Übung, bis sie ein Gefühl für die verschiedenen Stellungen bekommt.

Der augenblickliche Aktivitätsabfall bei Schluß der Stimmritze muß folgende Ursachen haben: Die zur Aufrechterhaltung der Inspirationslage nötige Energie wird bei Schluß der Stimmritze viel kleiner. Das Zwerchfell und der Thorax ruhen bei geschlossener Stimmritze auf einem fast inkom-

pressiblen Luftpolster; zur Aufrechterhaltung der Inspirationsstellung wird also praktisch keine Kraft benötigt. Neben diesen beiden Extremstellungen der Stimmritze können alle Übergänge im elektromyographischen Bild verfolgt werden. Die Stimmritze unterstützt dabei die inspiratorisch wirkenden Atemmuskeln bei der willkürlichen Aufrechterhaltung der Inspirationslage. Je nach Grad der Unterstützung wird weniger Energie benötigt, die Potentialhöhe wird entsprechend kleiner.

Wird die Inspirationsstellung von der Versuchsperson nicht länger willkürlich aufrechterhalten, so bleibt trotzdem für die kurze Zeit das registrierte spirometrische Atemvolumen und der Thoraxumfang in dieser Atemstellung konstant. Daß diese Atemstellung jedoch für keinen Augenblick als eine statische Ruhelage anzusprechen ist, geht daraus hervor, daß noch während der Inspirationslage ein enormer Potentialabfall der Intercostalmuskulatur und des Diaphragma einen Wechsel des Kräftesystems anzeigt; denn mit dem Absinken der elektrischen Aktivität kommt es zu einem Überwiegen der passiven expiratorischen Kräfte.

Passive Expiration:

Zu Beginn der passiven Expiration wird ein " Hinüberreichen " der inspiratorischen Aktivität bei Diaphragma und Intercostalmuskulatur in den ersten Teil der passiven Expiration registriert. Dieses " Hinüberreichen " ist bei tieferen Inspirationen größer als bei weniger tiefen. KOEPKE und Mitarbeiter 1958 (21) bestätigen, daß diese " Carry over-Aktivität " umso länger ist, je tiefer die vorausgehende Inspiration ist. Sie stellen weiter fest, daß die Länge der " Carry over-Aktivität " am längsten beim Diaphragma andauert und daß die Dauer bei der Intercostalmuskulatur vom 11. ICR aufwärts immer kürzer wird. AGOSTONI 1960 (1) beobachtet, daß der gastrische Druck während der passiven Expiration langsamer als erwartet abnimmt. DELHEZ 1964 (16) spricht von einer regulierenden Rolle des Diaphragma, KOEPKE 1958 (21) von einer Art Bremsaktion des Diaphragma und der Intercostalmuskulatur,

die verhindern soll, daß die elastischen Lungenkräfte die Expirationsbewegung schneller als normal beschleunigen. Diese Bremswirkung der Intercostalmuskulatur und des Diaphragma erklärt auch die Tatsache, daß der Übergang von forcierter Inspiration in die passive Expiration sowohl bei der Thoraxumfangbewegung als auch bei der spirometrischen Volumenänderung nicht plötzlich erfolgt, sondern in einer leicht gerundeten Biegung.- Der Befund von KOEPKE, daß die Carry over-Aktivität beim Diaphragma am längsten ist, würde der Beobachtung entsprechen, die sich aus der Beziehung Thoraxumfang / Volumen (siehe Abb. 1) ergibt; unabhängig von der Körperlage erkennt man im ersten Teil der passiven Expiration eine große Thoraxumfangabnahme im Verhältnis zur Volumenabnahme. In diesem Verhältnis erschlafft also die Intercostalmuskulatur schneller als das Diaphragma.

Aktive Expiration:

Mit größerer Entfernung von der Atemruhelage steigt während der aktiven Expiration die Aktivität der 4 Atemmuskeln wieder an und zwar setzt die Aktivität der Intercostalmuskulatur, der Mm. recti und der seitlichen Bauchwandmuskulatur früher ein und steigt in stärkerem Maße an als die des Diaphragma.- KOEPKE und seine Mitarbeiter (21) fanden bei Verwendung der Nadelelektroden im Zwerchfell während der aktiven Expiration keine Aktivität. Jedoch registrierten inzwischen PETIT und seine Mitarbeiter 1960 (26), sowie AGOSTONI (2) auch bei aktiver Expiration elektrische Aktivität des Diaphragma unter Verwendung von bipolaren Oesophagus - Elektroden.

Der Gebrauch zweier verschiedener Sondenelektroden brachte in vorliegenden Versuchen Ergebnisse von verschiedener Qualität. DELHEZ und Mitarbeiter 1963 (14) bestätigen ebenfalls, daß die Stabilität des Elektromyogramms bei Benützung verschiedener Sondentypen verschieden ist.- Durch die Größe der abnehmenden Fläche der für die durchgeführten Versuche konstruierten unipolaren Sondenelektrode (Beschreibung siehe Methodik) wird das elektromyographische Bild bei der Aufwärtsbewegung der Sonde wenig ver-

ändert. Weiter verhindert die Schwere der Sonde eine größere Eigenbeweglichkeit und gewährt damit eine größere Konstanz der Lage.- Das Zwerchfell ist also während der aktiven Expiration nicht erschlafft im Gegensatz zur bisher verkündeten Lehrmeinung. Vielmehr scheint eine stärkere Kontraktion der Bauchmuskulatur sichtbar eine größere Aktivität des Zwerchfells zu bewirken. Die Frage stellt sich, inwieweit eine Abhängigkeit zwischen Kontraktionsstärke der Bauchmuskulatur und Aktivität des Diaphragma besteht. DELHEZ 1964 (16) stellt fest, daß die Aktivität des Diaphragma parallel zu der der Bauchmuskulatur zunimmt. Weiter findet er, daß die Bauchmuskulatur während einer forcierten Expiration steigende Aktivität bei steigendem intrathorakalen Druck zeigt.- Ein Vergleich mit Versuchen bei statischem Expirationsdruck ergibt, daß es mit wachsendem Druck zu einem parallelen Ansteigen von Bauchmuskel- und Diaphragma - Aktivität kommt. In Bezug auf die Aktivitätssteigerung bei steigendem intrathorakalem bzw. expiratorischem Druck findet also eine weitgehende Übereinstimmung zwischen isotonischer und isometrischer Kontraktion bei expiratorischen Manövern statt. Dagegen beobachtet DELHEZ gegen Ende der forcierten Expiration eine Abnahme des intrathorakalen Druckes infolge " des immer stärker werdenden Einflusses der elastischen Thoraxkräfte und der Aktivität der Antagonisten , die diese Bewegung begrenzen. " Dabei bleiben zuletzt Aktivität und Muskelanspannung der Bauchmuskulatur praktisch unverändert.- Die Interkostalmuskulatur zeigt während der aktiven Expiration infolge der mit der Entfernung von der Atemruhelage wachsenden inspiratorisch wirkenden Kräfte, z.B. der Federkraft des Brustkorbes, eine steigende Aktivität.

Die forcierte Expirationslage:

Ebenso wie die Inspirationslage einer Atembewegung ist die Expirationslage bei einer forcierten Expiration für keinen Augenblick als eine statische Ruhelage anzusprechen. Während diese Lage für eine kurze Zeit eingehalten, d.h. keine spirometrische Volumensänderung gemessen wird, kommt es durch das starke Absinken der Aktivität

vor allem bei der Intercostal- und Bauchmuskulatur zu einem Überwiegen der passiven inspiratorischen Kräfte. Die Zeit, in der der Wechsel dieses Kräfteverhältnisses eintritt, ist bei maximaler Inspiration und maximaler Expiration annähernd gleich.

Die " Carry over - Aktivität" bei passiver Inspiration:

Analog der Carry over - Aktivität von der aktiven Inspiration in die passive Expiration kann auch diejenige, die von aktiver Expiration in die passive Inspiration hinüberreicht, als eine " Bremsaktion " angesehen werden. Dadurch wird ein plötzlicher Druckabfall im Brustraum verhindert. Das Zwerchfell ist während der passiven Inspiration dagegen erschlafft. Auffallender Weise hat die Carry over - Aktivität von Intercostal- und Bauchmuskulatur bei passiver Inspiration bisher in der Literatur keine Beachtung gefunden.-

Diese mehr oder weniger grundsätzlichen Aussagen über die Beteiligung der 4 Atemmuskeln an Atembewegungen sollte die Grundlage für die folgenden Untersuchungen bilden: Sie beinhalten, das elektromyographische Verhalten der Atemmuskeln auf statische und dynamische Eingriffe zu untersuchen.

Atemanhalten in verschiedenen Inspirationsstellungen:

Die elektrische Aktivität in den einzelnen Atemlagen von der Atemruhelage bis zur maximalen Inspirationsstellung verhält sich bei Intercostalmuskulatur und Diaphragma ungefähr analog der Aktivität in den einzelnen Inspirationsstellungen einer mit einer normalen Geschwindigkeit ausgeführten maximalen Inspiration. Bei dieser Untersuchung muß die Versuchsperson in den einzelnen Atemlagen immer auf eine geöffnete Stimmritze achten; denn eine geschlossene oder eine fast geschlossene Stimmritze bewirkt sogleich ein starkes Absinken der Aktivität.

Die elektrische Aktivität bei statischen Widerständen:

Die Untersuchung der elektrischen Aktivität gegenüber statischen Widerständen zeigt eine annähernde Linearität zwischen Sog bzw. Expirationsdruck und Potentialhöhe der untersuchten Atemmuskeln. Bei Extremitätenmuskeln fand LIPPOLD 1952 (23) eine direkte Beziehung zwischen dem integrierten EMG und der Muskelanspannung. Bisher untersuchten JONES und PAULY (20) die Beziehung zwischen elektrischer Aktivität und Expirationsdruck bei der seitlichen Bauchwandmuskulatur, der Intercostalmuskulatur und Mm. scaleni; sie fanden, daß sich die Muskeln proportional dem Expirationsdruck kontrahieren. Um eine genaue Beziehung zwischen elektrischer Aktivität und aufgewendetem Sog oder Expirationsdruck zu erhalten, müßte eine Untersuchung mit integriertem EMG unternommen werden.- Hervorzuheben ist jedoch das fast gleichgroße Ansteigen der Potentialhöhe bei der Intercostalmuskulatur in den entsprechenden Werten bei Expirationsdruck und bei Sog, sowie das antagonistische Verhalten von Diaphragma und Bauchmuskulatur: Während bei steigendem Sog die Aktivität des Diaphragma im Gegensatz zu der der Bauchmuskulatur stark ansteigt, steigt die Aktivität des Diaphragma bei steigendem Expirationsdruck im Gegensatz zu der der Bauchmuskulatur nur gering an. Sowohl das Diaphragma bei steigendem Expirationsdruck als auch die Bauchmuskulatur bei steigendem Sog können auf Grund der anatomischen Verhältnisse nicht direkt an der aktiven Erzeugung des Druckes beteiligt sein; jedoch scheint ihnen eine gewisse Funktion zuzukommen, wobei die Größe der Muskelanspannung sich nach der Größe des erzeugten Druckes bzw. nach der Größe der Anspannung des antagonistisch wirkenden Muskels richtet. Eine antagonistische Steuerung muß diskutiert werden.

Wird ein definierter Expirationsdruck mit maximaler Inspirationsstellung ausgeführt, so zeigt sich ein geringerer Potentialanstieg als in Atemruhelage. Als Ursache dafür kann folgendes angeführt werden: Bei der Erzeugung eines Expirationsdruckes in maximaler Inspirationsstellung kommen zwei statische Kräfte zur Auswirkung; erstens muß von der Inspirationsmuskulatur die Inspirationsstellung auf-

recht erhalten und zweitens muß von der Expirationsmuskulatur der Expirationsdruck gebildet werden.- Wird nämlich die Stimmritze (siehe Seite 22) oder der äußere Atemweg durch den Anschluß an ein Druckmeßgerät in maximaler Inspirationsstellung geschlossen, so wirkt der bei dieser Inspirationsstellung bestehende Thoraxinnendruck den statischen Expirationskräften entgegen. Die Potentialhöhe sinkt auf niedrige Werte ab, wie oben am Beispiel der Wirkung der geschlossenen Stimmritze gezeigt wurde. Das Druckmeßgerät zeigt in diesem Falle den bei dieser Inspirationsstellung bestehenden Thoraxinnendruck an. Wird nun willkürlich der Expirationsdruck durch isometrische Muskelkontraktion erhöht, so baut sich jede folgende Drucksteigerung auf dem bereits in dieser Inspirationsstellung bestehenden Thoraxinnendruck auf. Es kommt wieder zu einer annähernd linearen Aktivitätssteigerung; jedoch ist diese Aktivitätssteigerung entsprechend dem bereits in maximaler Inspirationsstellung bestehenden Thoraxinnendruck geringer d.h. die Expirationsmuskulatur muß entsprechend weniger Energie aufbringen.

Die bisherigen Ergebnisse behandelten isometrische Kontraktionen der Atemmuskulatur unter Veränderung statischer Kräfte. Bei jeder Atembewegung kommt es jedoch zusätzlich zu den statisch wirkenden Kräften, zum Auftreten von dynamischen, der Bewegung entgegengerichteten Kräften.

Die elektrische Aktivität bei dynamischen Widerständen:

Atembewegungen bei normaler d.h. der Versuchsperson entsprechenden Atemgeschwindigkeit wurden bereits hinreichend besprochen. Hinzuzufügen ist, daß die forcierte Inspiration in den einzelnen Durchgangslagen einen ähnlichen Potentialanstieg zeigt wie entsprechende Atemlagen von der Atemruhelage bis zur maximalen Inspirationsstellung. Die durch die Bewegung hervorgerufenen zusätzlichen dynamischen Widerstände werden demnach nicht sichtbar. Jedoch jeder zusätzlich definierte dynamische Widerstand wirkt sich auf das Potentialbild aus. Wie bereits beschrieben, nimmt bei

gleichartigen Atembewegungen die elektrische Aktivität gemäß dem vorgeschalteten dynamischen Widerstand zu, d.h. in einer graphischen Darstellung von Atembewegungen zwischen elektrischer Aktivität und spirometrischem Atemvolumen zeigt z.B. eine tiefe Inspiration ohne vorgeschalteten Widerstand eine geringere Aktivitätszunahme als eine Inspiration mit einem nächst größeren dynamischen Widerstand. Voraussetzung für diese Untersuchung ist, daß die Versuchsperson die einzelnen Atembewegungen mit einer möglichst gleichmäßigen Atemgeschwindigkeit ausführt. Da eine Konstanthaltung der Atemgeschwindigkeit nur in begrenztem Umfang möglich ist, müssen sich notgedrungen Abweichungen ergeben. Eine weitere Schwierigkeit bildet der Umstand, daß bei Auswertung jedes einzelnen Atemmanövers mit jeweils verschieden vorgeschaltetem dynamischen Widerstand die spirometrisch gemessene maximale Expirationslage als Bezugspunkt verwendet werden mußte. Ungenauigkeiten, die dadurch entstehen konnten, wurden jedoch durch die Beobachtung des fortlaufend registrierten Thoraxumfanges sofort reguliert.

Bei größerem dynamischen Widerstand konnte auch während der ganzen passiven Expiration und passiven Inspiration Aktivität vor allem in der Intercostalmuskulatur, aber auch im Diaphragma festgestellt werden. DELHEZ 1964 (16) berichtet Ähnliches bei der passiven Expiration. In der Regel besteht während dieser Atembewegungen nach Verlöschen der Carry over - Aktivität keine Aktivität; in diesem Falle sind die dynamischen Widerstände größer als die passiven expiratorischen Kräfte, sodaß die Expirationsmuskeln aktiv werden.

Auch bei Ruheatmung ist gemäß dem vorgeschalteten dynamischen Widerstand eine deutliche Aktivitätssteigerung zu bemerken. Mit zunehmender Größe des Widerstandes nimmt dabei nicht nur die registrierte Aktivität zu, sondern auch die Atemtiefe, d.h. es wurde eine Zunahme des Bauch- und Brustumfanges bei Verlängerung der Atemzugdauer gemessen. Ähnliche Beobachtungen in Bezug auf die Aktivität und auf die mechanische Bewegungsänderung werden bei Untersuchungen zwischen Mund- und Nasenatmung festgestellt. Hier

wirkt sich also bereits der physiologisch größere Widerstand der Nasenatmung aus; jedoch kann nicht unterschieden werden, ob die geringe Aktivitätsvermehrung auf Grund des größeren dynamischen Widerstandes entsteht oder durch die reflektorisch entstehende geringe Zunahme der Atemtiefe.

Die elektrische Aktivität bei verschiedener Atemgeschwindigkeit.

Bei den vorausgegangenen Untersuchungen wurde der durch die Bewegung entstehende dynamische Widerstand möglichst konstant gehalten; dadurch konnte die elektrische Aktivität der Atemmuskeln bei Zwischenschalten eines bestimmten definierten dynamischen Widerstandes untersucht werden. Bei Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit wird der durch Bewegung entstehende dynamische Widerstand verändert. Je größer die Geschwindigkeit, desto eher setzt die Aktivität ein und desto größer ist die Aktivitätssteigerung. Während jedoch bei gleichen dynamischen Widerständen eine annähernd gleichmäßige Aktivitätssteigerung in den einzelnen Atemlagen entsprechend dem vorgeschalteten Widerstand zu beobachten ist, scheint bei Atembewegungen mit verschiedener Geschwindigkeit schon zu Beginn der Inspirationsbewegung eine relativ größere Aktivitätszunahme aufzutreten; die Aktivität steigt dann in geringerem Ausmaß weiter an. Am deutlichsten ist diese Erscheinung an Inspirations- bzw. Expirationsstößen zu erkennen. Diese relativ größere Aktivitätssteigerung zu Beginn der Inspiration spricht dafür, daß die inneren dynamischen Widerstände bei größerer Geschwindigkeit größer sind als im weiteren Verlauf. Dies könnte in erster Linie auf die Trägheit zurückzuführen sein, die zu Beginn der Inspiration innerhalb des inneren dynamischen Widerstandes wohl die größte Rolle spielen dürfte.

Die elektrische Aktivität bei Lageänderung:

Die Körperhaltung beeinflusst die Mechanik der Atmung insofern, als der Druck der Baueingeweide sowie die

Eigenschwere und Belastung des Brustkorbes bei den verschiedenen Stellungen sehr verschieden wirken (RAUBER-KOPSCH (28)). In flacher Rückenlage stehen die Zwerchfellkuppen um 2 cm höher als in aufrechter Stellung (BRAUS-ELZE (?)). Nach ANTHONY (3) beträgt die Reserveluft in aufrechter bzw. sitzender Körperstellung 34 % bzw. 32 %, in Rückenlage 20,5 % der Vitalkapazität. Die Atemruhelage verschiebt sich demnach bei Wechsel der Körperstellung von aufrechter Stellung in die Rückenlage um 13,5 % in Richtung Expiration.- Wie schon berichtet, wirkt sich der Lagewechsel auch auf den äußeren Rumpfumfang bei Ruheatmung aus ; so tritt bei Wechsel von aufrechter bzw. sitzender Stellung in die Rückenlage eine Thoraxumfangerweiterung ein, " da der Thorax vom ZuF der Bauchdecken entlastet wird. " (BENNINGHOFF-GOERTTLER (5)); der Bauchumfang verschiebt sich in Rückenlage infolge des Höherrückens der Zwerchfellkuppen in Richtung Expiration.-

Für die Beurteilung der Zwerchfellaktivität bei Lageänderung ergibt sich insofern eine Schwierigkeit, als mit der Lageänderung auch eine Änderung des Zwerchfellstandes verbunden ist; diese Änderung liegt jedoch im Bereich der Abgreiffläche der Elektrode.- Außerdem tritt bei Lageänderung auch eine leichte Verschiebung der Haut und damit der Elektroden gegenüber dem darunterliegenden Gewebe ein, was sich besonders bei der Registrierung der Aktivität in den Intercostalräumen bemerkbar macht. Dadurch wurde manchmal ein Nachstellen der Elektroden notwendig.- Eine größere Schwierigkeit bildete der Umstand, daß bei jeder Körperstellung die maximale Expirationslage als eine konstante Bezugslage für den Vergleich der Volumenänderungen herangezogen werden mußte. Die daraus resultierende Fehlerquelle konnte jedoch sehr gering gehalten werden, da die fortlaufende Thoraxumfangregistrierung als Vergleichsgröße verwendet wurde. Die zu vergleichenden Atembewegungen wurden jeweils von tiefer Expirationslage bis in tiefe Inspirationslage und umgekehrt ausgeführt.

Inspiration:

- a) Das frühere Ansteigen der Zwerchfellaktivität in Rückenlage erklärt sich aus der Tatsache, daß das Reservevolumen in Rückenlage geringer ist, also die aktive Inspiration von einem geringeren Luftinhalt der Lungen ausgeht. Schwieriger zu deuten ist das anschließend stärkere Ansteigen der Aktivität in aufrechter Körperstellung. Eventuell kann dieses auf Grund der größeren Spannung der Bauchdecken in aufrechter Körperstellung infolge des auf ihnen lastenden Gewichtes der Bauchorgane zurückgeführt werden; das Diaphragma muß zur Überwindung dieses größeren Widerstandes eine größere Energie aufwenden.
- b) Durch den Wechsel von aufrechter in liegende Stellung ändert sich der Thoraxumfang. Seine Atemruhelage wird in Richtung Inspiration d.h. eines größeren Thoraxumfanges verschoben. Entsprechend der Verschiebung der Atemruhelage geht die elektrische Aktivität von der neuen Atemruhelage aus, der Anstieg der Aktivität in Rückenlage beginnt später als in aufrechter und sitzender Stellung.-

Das Gewicht des Thorax, auf dem sowohl der Zug der Bauchdecken als auch das Gewicht der Schulter- und Brustmuskeln lastet (die Schultermuskeln entlasten jedoch durch ihre Befestigung an der Wirbelsäule und am Kopf den Thorax teilweise), erklärt das stärkere Ansteigen der elektrischen Aktivität der Intercostalmuskulatur in aufrechter und sitzender Körperstellung. In Rückenlage entfällt dieser zusätzliche Energieaufwand.

Ebenso kann die Tatsache, daß die Potentialhöhe in aufrechter und sitzender Stellung größer ist als diejenige in Rückenlage, durch die zusätzlich auftretenden Kräfte der Schwerkraft gedeutet werden.

- c) Bei der Bauchmuskulatur sind während der aktiven Inspiration bei Lagewechsel keine charakteristischen Änderungen der elektrischen Aktivität zu entdecken. Das Ansteigen der Aktivität zeigt sich vielmehr von der Größe der Bauchbewegung abhängig, weniger von der Änderung der Körperlage.

Expiration:

- a) Das Diaphragma zeigt keine charakteristischen Änderungen der elektrischen Aktivität.
- b) In Rückenlage ist der Thoraxumfang größer als in aufrechter und sitzender Stellung d.h. in einer weiteren Entfernung von der maximalen Expirationslage. Das bedeutet aber auch, daß die passiven inspiratorischen Kräfte (z.B. die Federkraft des Brustkorbes) bei einer aktiven Expiration früher auftreten; damit erklärt sich das frühere Einsetzen der aktiven expiratorischen Muskelkontraktion in Rückenlage.

Durch das frühere Einsetzen der Aktivität in Rückenlage wird in jeder folgenden Expirationsstellung bereits eine größere Aktivität erreicht. Außerdem fallen in Rückenlage diejenigen Wirkungen der Schwerkraft weg, die in aufrechter und sitzender Stellung die Expiration unterstützen. In Rückenlage wird daher für die aktive Expiration mehr Energie aufgewendet, was den größeren Potentialanstieg in Rückenlage erklären könnte. Ein Vergleich zwischen aufrechter und sitzender Körperstellung ergibt keine kennzeichnenden Merkmale.

- c) Der Bauchumfang ist bei Ruheatmung im Stehen und Sitzen infolge des tieferen Standes der Zwerchfellkuppen größer als im Liegen; entsprechend ist im Stehen und Sitzen ein früheres Einsetzen der Aktivität zu beobachten.

Durch den früheren Einsatz der Aktivität in aufrechter und sitzender Körperstellung befindet sich die Bauchmuskulatur in jeder folgenden Expirationsstellung in einem größeren Aktivitätszustand. Außerdem wirken die Kräfte der Schwerkraft in aufrechter und sitzender Körperstellung in einem größeren Ausmaß auf die Bauchwand als in Rückenlage. Um diesen größeren Widerstand überwinden zu können, wendet die Bauchmuskulatur mehr Energie auf.-

Weiter kommt in aufrechter und sitzender Körperstellung eine geringere Aktivität bei Intercostal- und Bauchmuskulatur hinzu, die durch die Körperhaltung z.B. zur Regu-

lierung des Körpergewichtes aufgewendet wird; sie unterscheidet sich von der respiratorischen Aktivität in Ruheatmung insofern, als die Haltungsaktivität keine phasenabhängige Rhythmik aufweist.-

Wenn wir also zusammenfassend die maximale Expirationslage als eine konstante Bezugslage benützen, so sehen wir eine weitgehende Abhängigkeit der elektrischen Aktivität bzw. der Muskelanspannung von der Atemruhelage in den einzelnen Körperlagen. Die Änderungen der elektrischen Aktivität der Intercostalmuskulatur und der Bauchmuskulatur lassen sich entsprechend den bei verschiedener Körperlage auftretenden Rumpfumfängen (Thoraxumfang und Bauchumfang), die Änderung der elektrischen Aktivität des Diaphragma entsprechend der Größe des Reservevolumens deuten. Weiter beeinflußt sicher noch die bei Lagewechsel auftretende Änderung der wirkenden Schwerkraft die Muskelanspannung bzw. die abgeleitete elektrische Aktivität.

Zuletzt sei noch erwähnt, daß zwei orientierende Versuche zur Beantwortung folgender Frage ausgeführt wurden: Gibt es eine optimale Arbeitsleistung der Atemmuskeln, d.h. gibt es eine bestimmte Geschwindigkeit bei der Atmung, die ein Minimum an Arbeitsleistung von der Atemmuskulatur erfordert ? - Die Versuchsperson führte nach einander 12 tiefe Inspirationen mit jeweils verschiedener Atemgeschwindigkeit aus und zwar von extrem langsamer bis zu sehr rascher Atemgeschwindigkeit. In der Auswertung wurde jeweils in einem bestimmten Bereich der Thoraxumfangänderung (von der maximalen Expirationslage aus berechnet) die Geschwindigkeit der Thoraxumfangänderung in graphische Beziehung gesetzt mit der Aktivitätszunahme in diesem Bereich. Die graphische Darstellung zeigt trotz großer Streubreite der Werte, daß Atembewegungen mit normaler ungezwungener Inspirationsgeschwindigkeit durchschnittlich eine relativ geringere Potentialzunahme aufweisen gegenüber Atembewegungen mit extrem langsamer Geschwindigkeit. Mit steigender Geschwindigkeit wird dann - wie bereits ausführlich geschildert - die Potentialzunahme entsprechend der steigenden Atemgeschwindigkeit wieder

größer. Den geringsten Kraftaufwand weist demnach die Interkostalmuskulatur in einem Geschwindigkeitsbereich auf, der bei normalen, weitgehend ungezwungenen Atembewegungen eingehalten wird. Dieser Geschwindigkeitsbereich kann sich je nach Versuchsperson ändern.- Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß diese zwei Versuche, die speziell an der Interkostalmuskulatur gemacht wurden, noch keine sicheren Ergebnisse bringen konnten. Der Verfasser dieser Arbeit ist jedoch der Ansicht, daß auf diesem Gebiete mit noch besseren Registriermethoden und umfassenderen Untersuchungen eine genauere Antwort auf die Frage nach der optimalen Arbeitsleistung der Atemmuskulatur möglich ist.

Die in dieser Arbeit aufgeführten Ergebnisse sind in vieler Hinsicht noch unzulänglich. Das Bemühen, einmal elektromyographische Befunde an Atemmuskeln in direktem Zusammenhang mit dem mechanischen Bewegungsablauf zu sehen, sollte das Ziel dieser Arbeit sein. Die Trennung der bei Atembewegungen auftretenden Kräfte in statische und dynamische, ihre Untersuchung und Gegenüberstellung mit elektromyographischen Methoden, sollte eine Möglichkeit aufzeigen, dem Erfassen des komplexen Vorganges von Atembewegungen einen Schritt näher zu kommen. In den angesprochenen Gebieten bleiben noch viele Fragen offen, zu deren Beantwortung es zum Teil noch genauerer Untersuchungsmethoden bedarf. Ferner ist die elektromyographische Untersuchung auch auf andere Atemmuskeln auszudehnen. Es bleibt zu hoffen, daß die vorliegende Arbeit auf diesem noch weitgehend unabgeschlossenen Gebiet der elektromyographischen Untersuchung von Atembewegungen Anregung vermittelt und einige praktische Erkenntnisse vor allem für die Atemtherapie liefert.

F

Z u s a m m e n f a s s u n g

1. Es wurde die Änderung der elektrischen Aktivität der Interkostalmuskulatur, des Diaphragma, des M. rectus und der seitlichen Bauchwandmuskulatur in Bezug auf die mechanische Bewegung bei der Atmung untersucht. Die mechanische Bewegung bei der Atmung wurde mit Hilfe einer fortlaufenden Thoraxumfang- und Bauchumfangregistrierung, sowie einer spirometrischen Volumenmessung erfaßt. Untersucht wurden Ruheatmung und mittlere und forcierte Atembewegungen an 16 gesunden Versuchspersonen im Alter von 19 - 25 Jahren (9 weibliche, 7 männliche) bei 55 Einzelversuchen.
2. Zur Registrierung der elektrischen Aktivität des Diaphragma wurde die Konstruktion einer Sondenelektrode nötig, die auch in aktiver Expiration Aktivität erfaßt und eine große Stabilität der isoelektrischen Linie ermöglicht.
3. Die graphische Beziehung Thoraxumfangänderung / Volumenänderung erlaubte das Zusammenspiel bzw. die relative Beteiligung des Brustkorbes (durch Erweiterung des Thoraxumfanges) und des Diaphragma (durch Erweiterung des Brustraumes nach unten) bei Atembewegungen zu beobachten. Es wurden gleichsinnige Änderungen der elektrischen Aktivität der beteiligten Atemmuskeln mit der mechanischen Bewegungsänderung gefunden.
4. Bei Untersuchungen sakkadierender Inspirations- und Expirationsbewegungen fanden sich bei Diaphragma und Interkostalmuskulatur Aktivitätsimpulse, die vor der mechanischen Bewegung auftreten und schnell wieder erlöschen.
5. Bei der Untersuchung der elektrischen Aktivität bei Atemanhalten in den einzelnen Inspirationsstellungen von der Atemruhelage bis zur maximalen Inspirationslage ergab sich, daß diese Aktivität den Inspirationsstellungen einer mit normaler Geschwindigkeit ausgeführten tiefen Inspiration entspricht.

6. Untersuchungen mit statischen Widerständen bei definier-
tem Druck oder Sog zeigten, daß die elektrische Aktivität
der Intercostalmuskulatur, des Diaphragma und der Bauch-
muskulatur abhängig ist von der Größe des statischen
Widerstandes und von der Atemruhelage, in der die Atem-
manöver gegen statische Widerstände ausgeführt werden.
7. Bei Vorschalten dynamischer Strömungswiderstände in den
äußeren Atemweg zeigte sich sowohl in Ruheatmung, als
auch bei tieferen Atembewegungen entsprechend der Größe
des vorgeschalteten Widerstandes eine größere elektri-
sche Aktivität. Es wurde kurz auf Unterschiede zwischen
Mund- und Nasenatmung eingegangen.
8. Atembewegungen mit verschiedener Atemgeschwindigkeit
riefen Aktivitätsänderungen hervor, die sich gleichsinnig
mit der Atemgeschwindigkeit ändern.
9. Bei Vergleich von Atembewegungen in verschiedener Körper-
lage fand sich eine weitgehende Abhängigkeit der elektri-
schen Aktivität der untersuchten Atemmuskeln von der Ver-
schiebung der Atemruhelage bei Lagewechsel, wie sie sich
in der Änderung des Rumpfumfanges und des Reservevolumens
meßbar ergab. Infolge des Wechsels der Körperlage traten
Schwierigkeiten auf, die sich aus der Änderung der Lage
der Elektroden zum elektromyographisch abgegriffenen
Muskelteil ergaben. Besonders wirkte sich dieser Umstand
beim Zwerchfell aus, da bei Wechsel von aufrechter Kör-
perstellung in die Rückenlage ein Hochsteigen der Zwerch-
felloberkanten von 2 cm erfolgte. Um ein vergleichbares
Aktionsstrombild zu erhalten, wurde die Konstruktion
einer Sonderelektrode mit einer größeren Abgreiffläche
nötig.

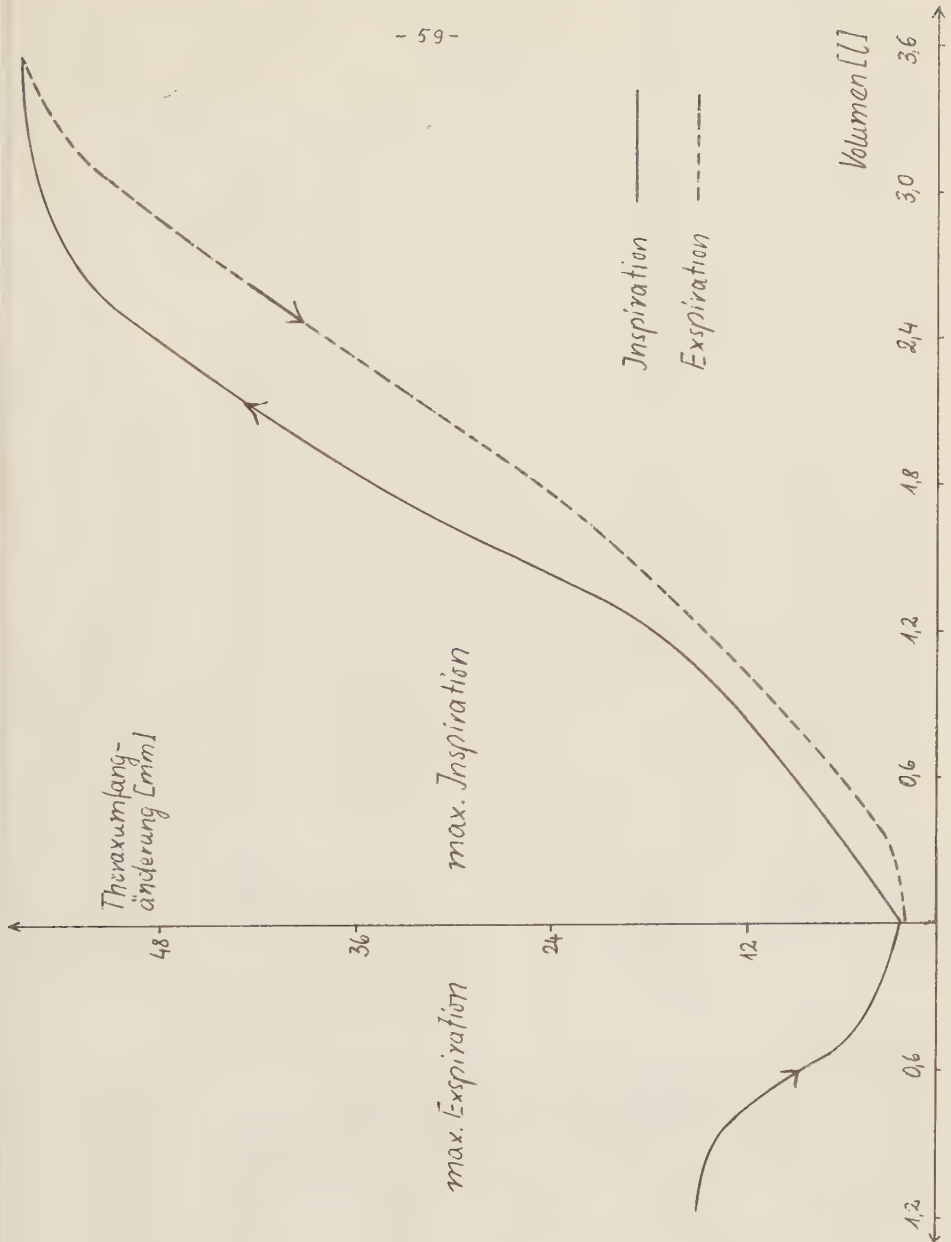


Abb. 1 zeigt die Folge forcierteter Atembewegungen bei einer 25 jährigen männlichen Versuchsperson in der graphischen Beziehung : Thoraxumfangänderung (mm) / Volumenänderung (l). Einer aktiven Expiration (von der Atemruhelage) folgt eine tiefe Inspiration mit anschließender Expiration.

Abb. 1a: Ausschnitt aus einem Registrierbeispiel
Registriereschwindigkeit : 50 mm/sec

Von oben nach unten: elektr. Aktivität des Diaphragma
elektr. Aktivität der Interkostalmuskulatur.
Thoraxumfangsänderung: Zunahme nach oben
Volumensänderung : Zunahme nach unten

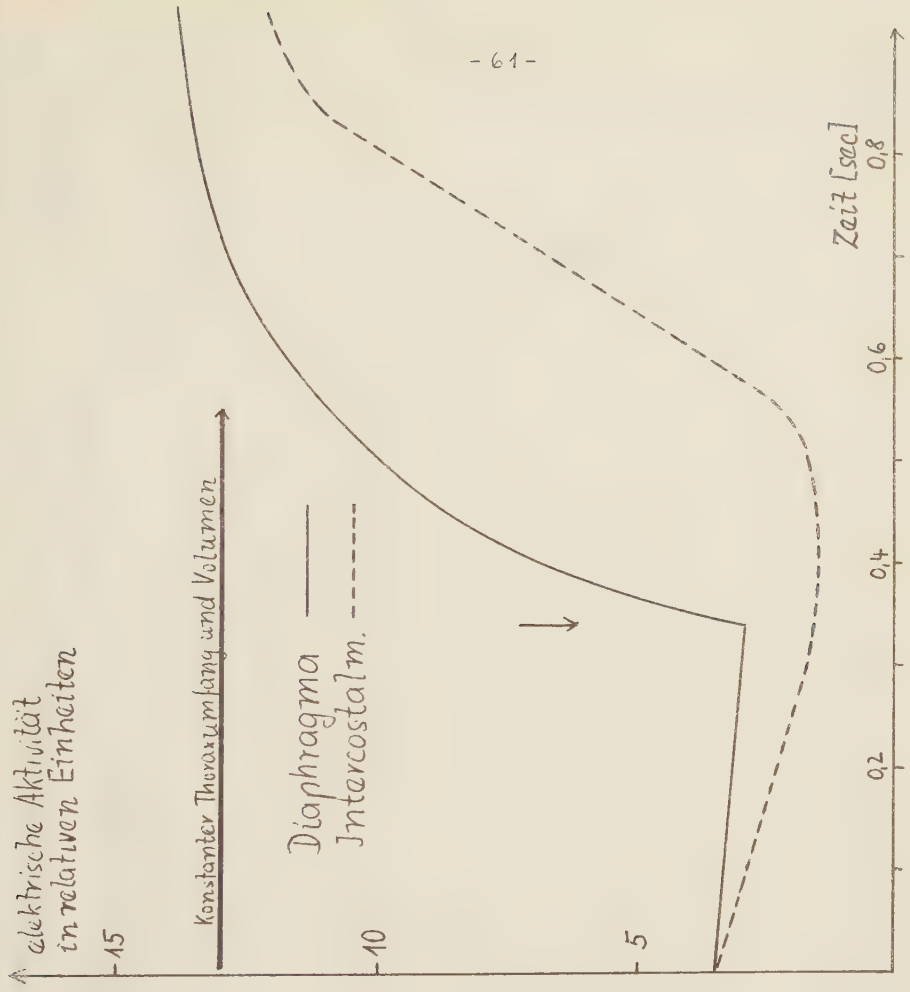


Abb. 2 zeigt den Anstieg der elektrischen Aktivität pro Zeit zu Beginn einer tiefen Inspiration bei Diaphragma und Intercostalmuskulatur; die Zeit, die bis zum Auftreten der Bewegungsänderung vergeht, ist gekennzeichnet. (21jährige weibliche Versuchsperson)

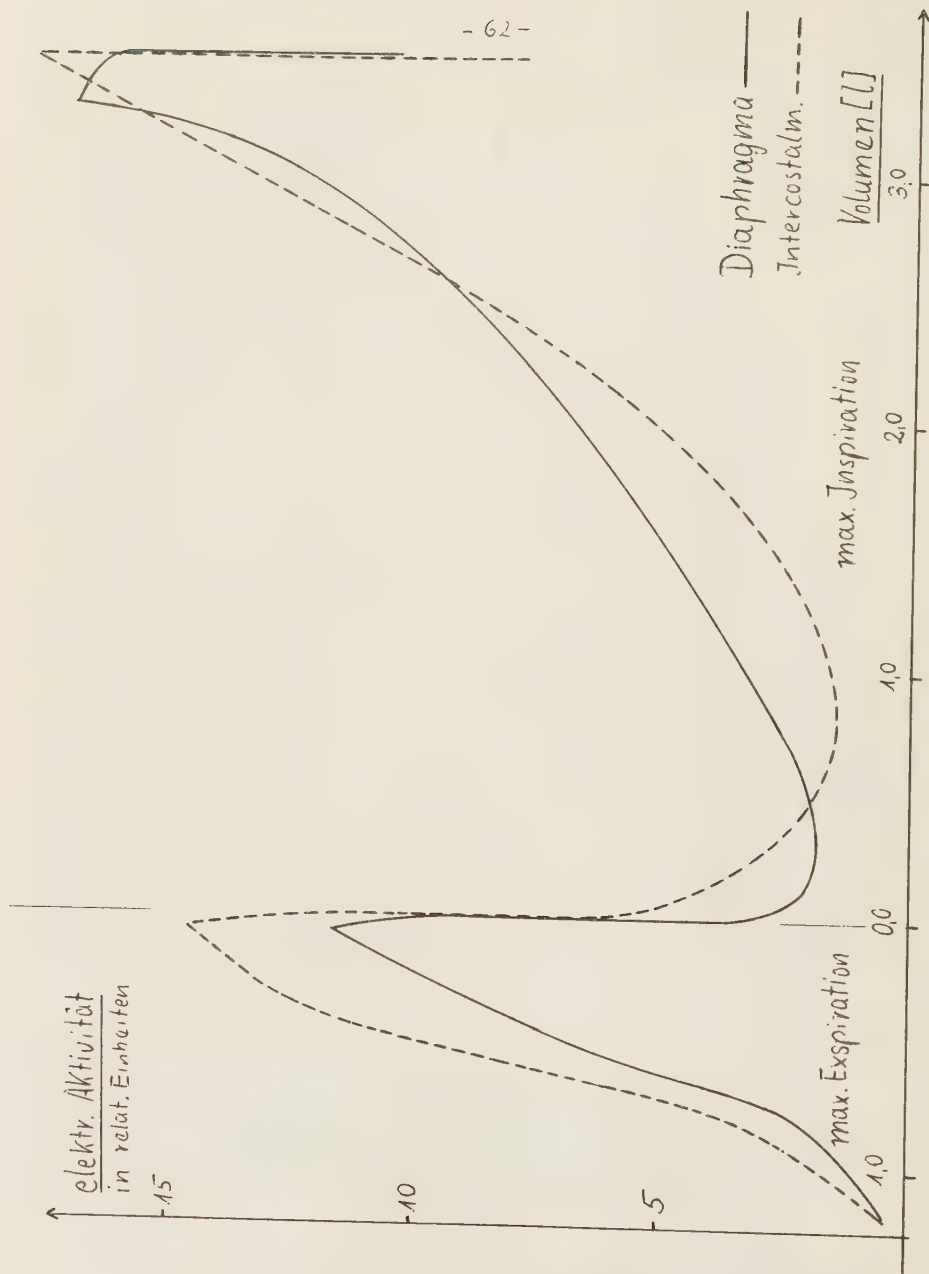


Abb. 3 zeigt die Änderung der Diaphragma- bzw. Intercostal-aktivität entsprechend der Volumenänderung einer maximalen Expiration mit folgender tiefen Inspiration (25jährige männliche Versuchsperson).

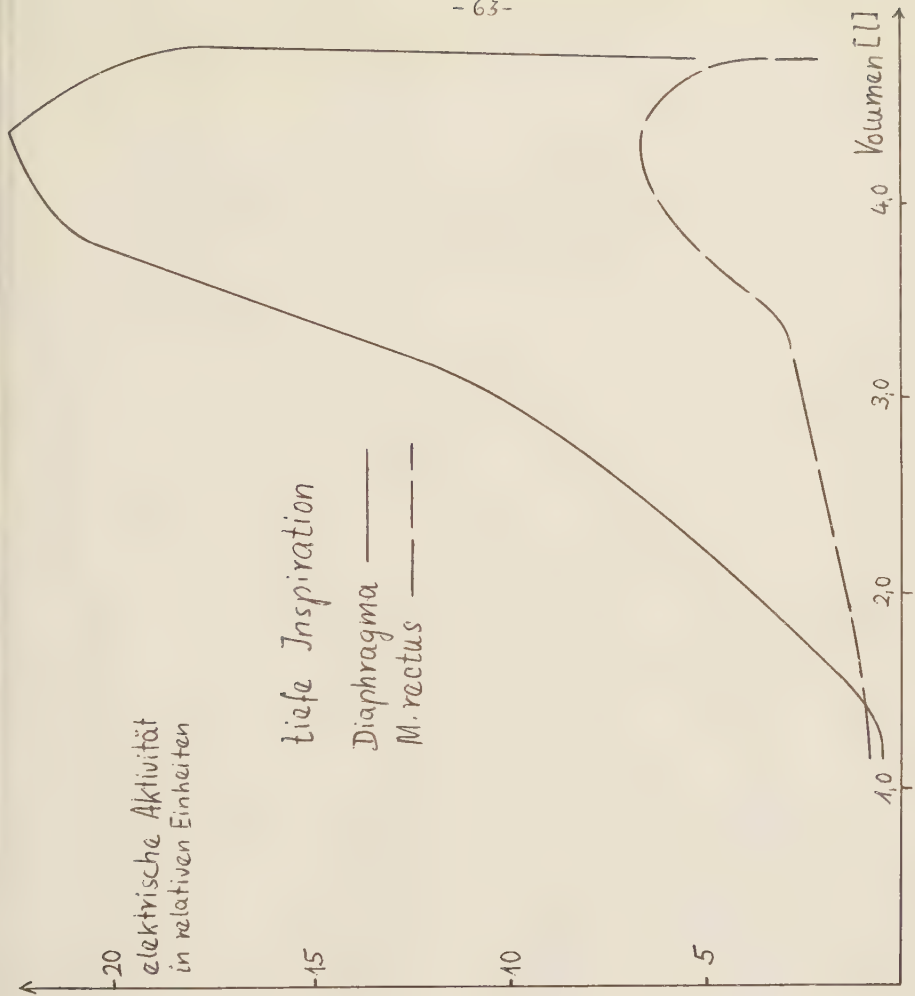


Abb. 4 zeigt die Änderung der elektrischen Aktivität des Diaphragma bzw. des M. rectus entsprechend der Volumenänderung einer tiefen Inspiration (23jährige männliche Versuchsperson).

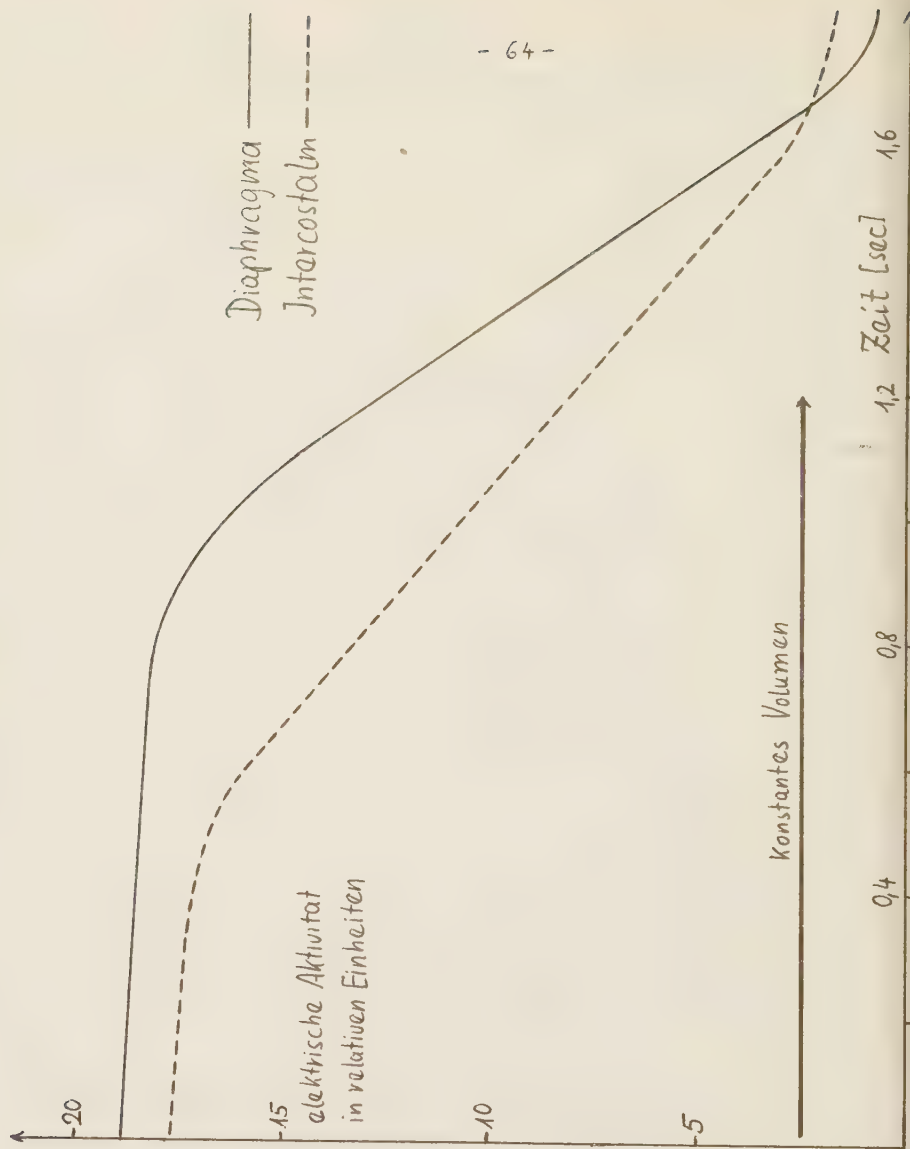


Abb. 5 zeigt den potentialabfall / Zeit in tiefer Inspirationsstellung und am Anfang der passiven Expirationsbewegung. Die Zeit, in der die Inspirationsstellung bis zum Beginn der passiven Expiration aufrechterhalten wird ist mit einer ausgezogenen Geraden eingezeichnet.
(25 jährige männliche Versuchsperson)

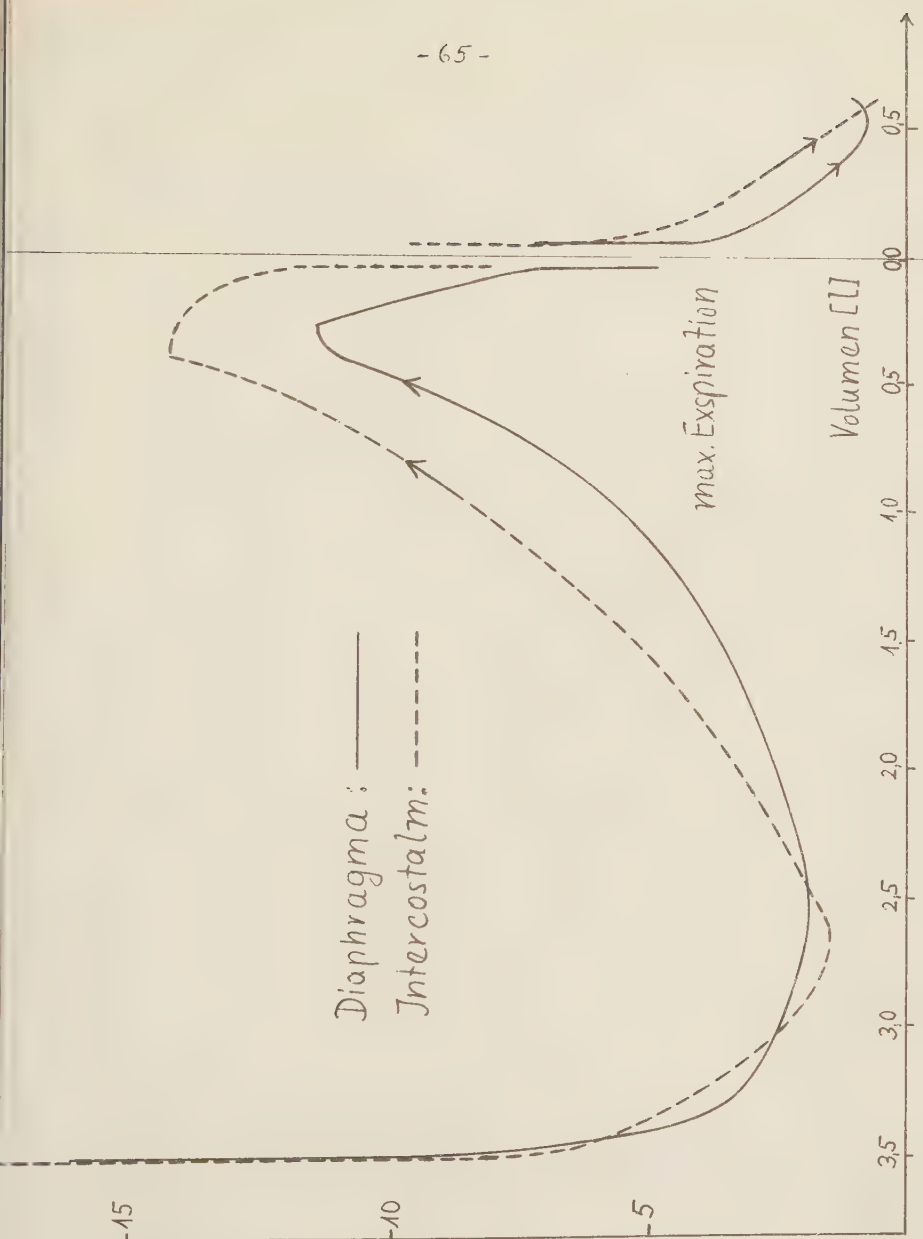


Abb. 6 zeigt die Änderung der Diaphragma- bzw. Intercostalaktivität entsprechend der Volumenänderung einer passiven und aktiven Expiration. (25 jährige männliche Versuchsperson)

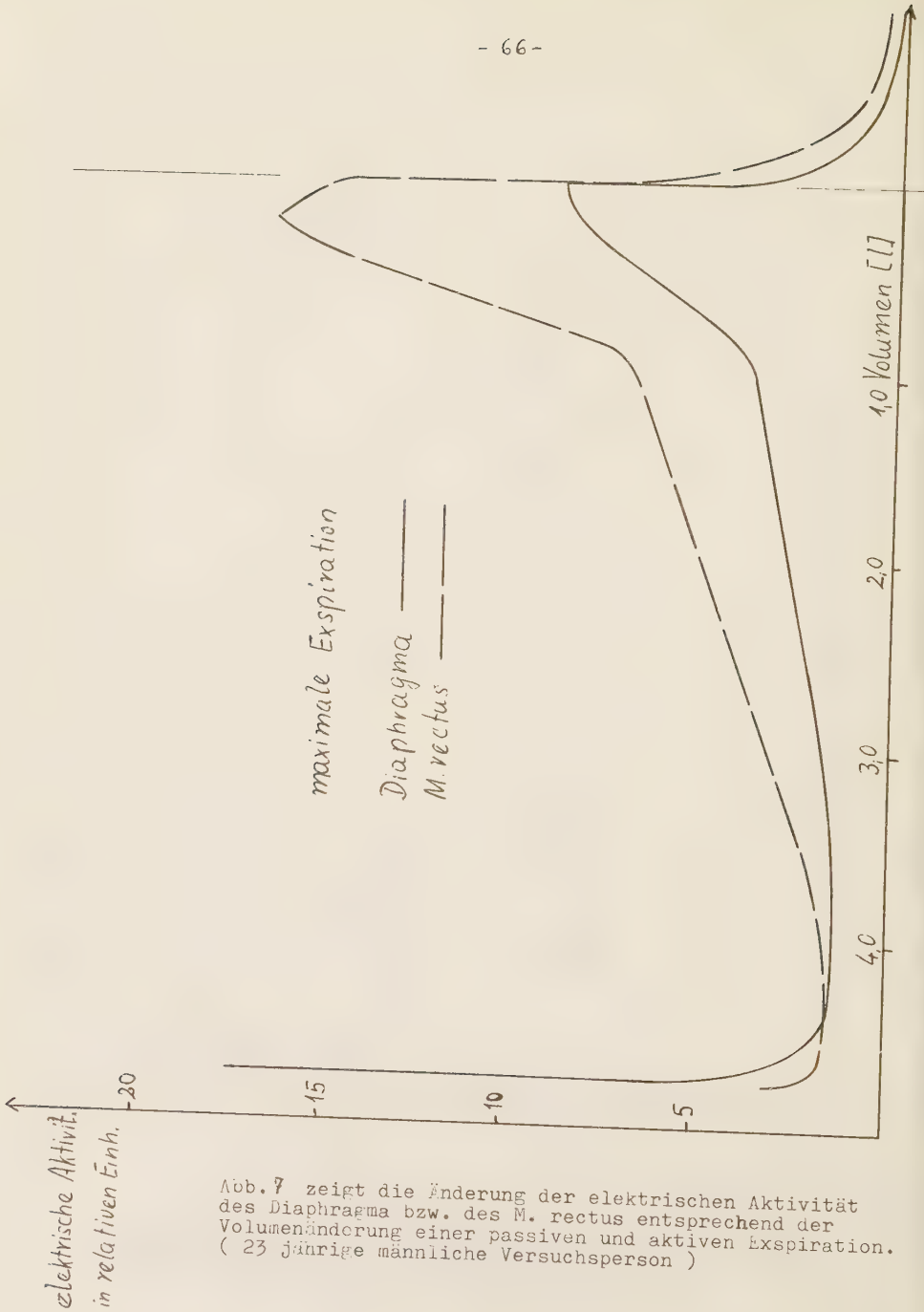


Abb. 7 zeigt die Änderung der elektrischen Aktivität des Diaphragma bzw. des M. rectus entsprechend der Volumenänderung einer passiven und aktiven Expiration. (23 jährige männliche Versuchsperson)

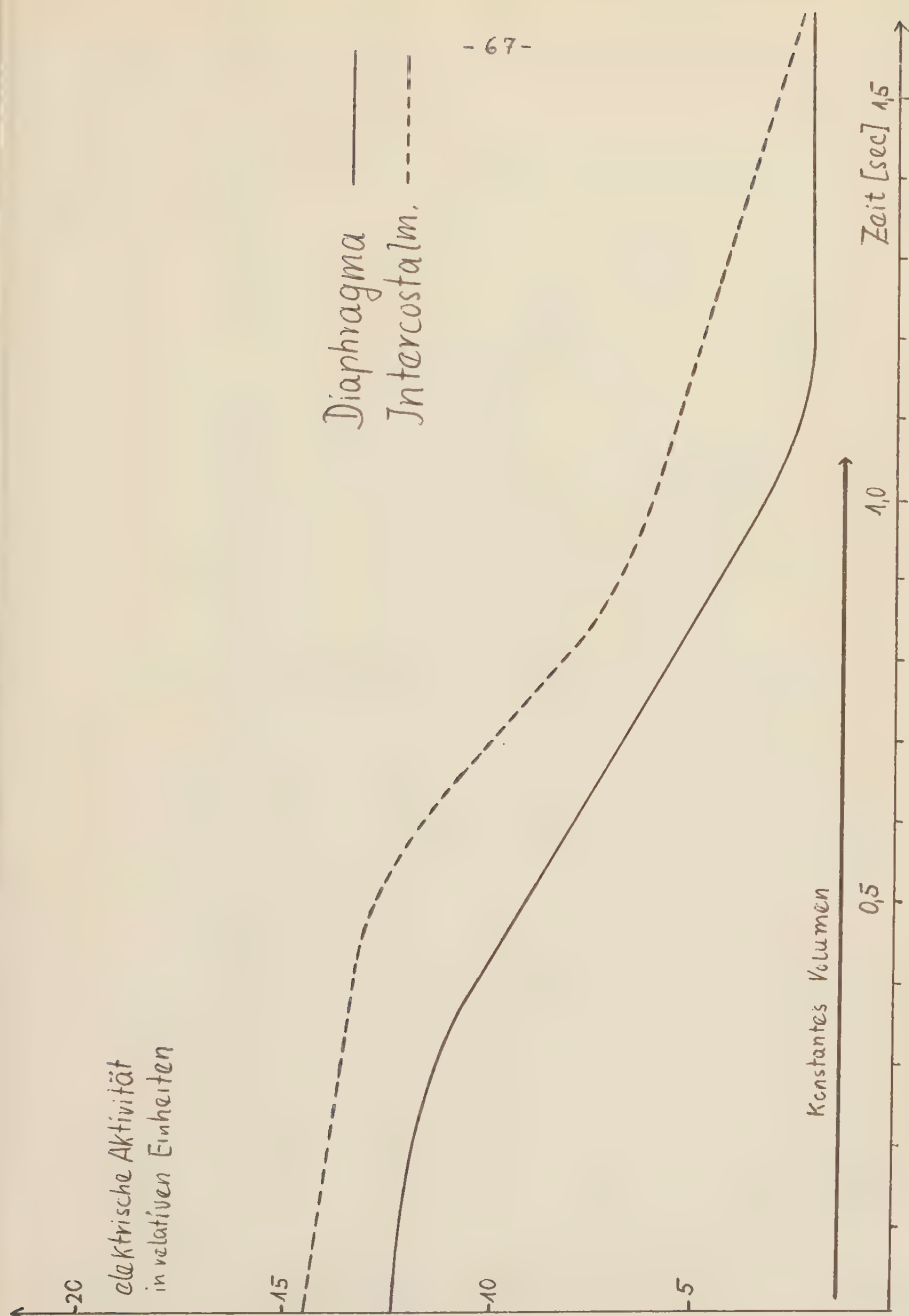


Abb. 8 zeigt den Potentialabfall / Zeit in tiefer Expirationsstellung und am Anfang der passiven Inspirationsbewegung. Die Zeit, in der die Expirationsstellung bis zum Beginn der passiven Inspiration aufrechterhalten wird, ist mit einer ausgezogenen Geraden eingezeichnet.
(25 jährige männliche Versuchsperson)

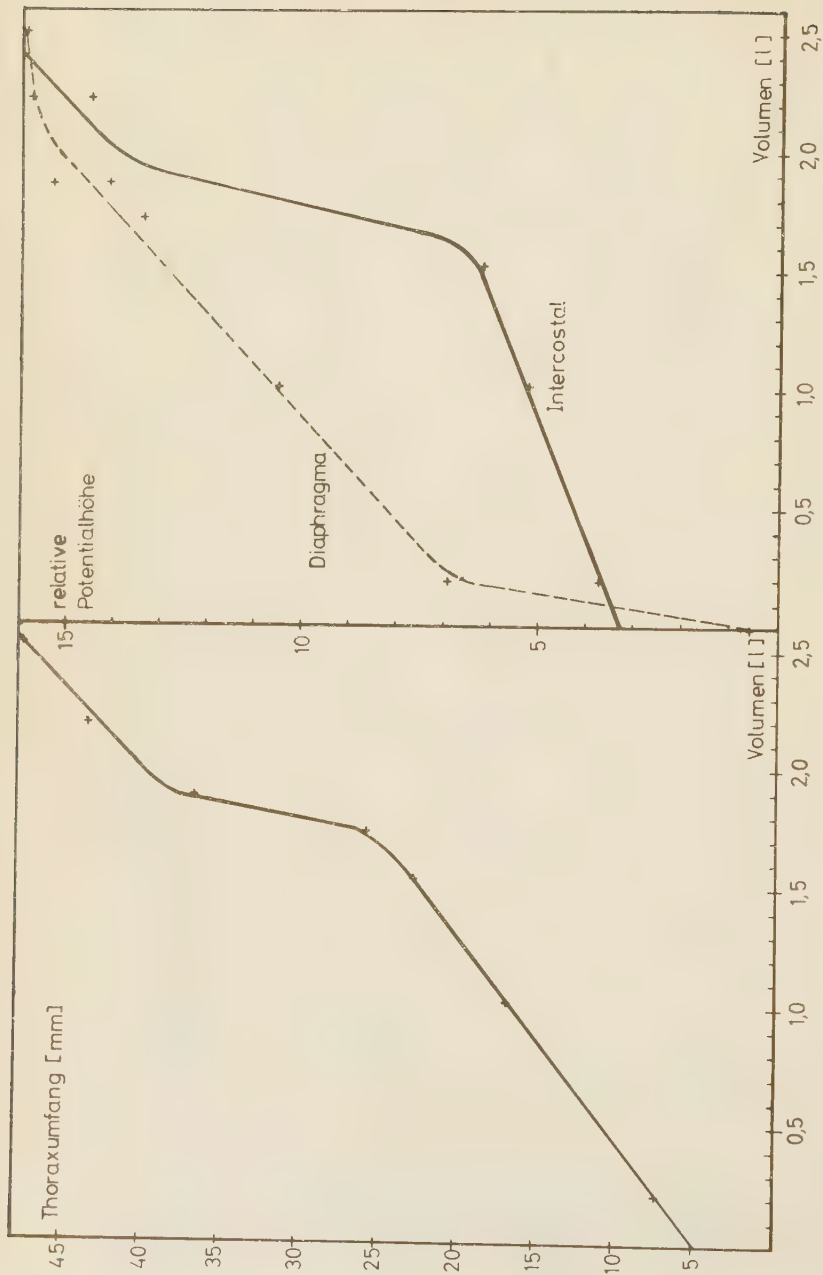


Abb. 9

(Abd. 10) Sakkadierende Inspiration und Schließen der Stimmritze
in Inspirationsstellung. 1 Diaphr., 2 Interc., 3 Thoraxumf., 4 Bauchumf.

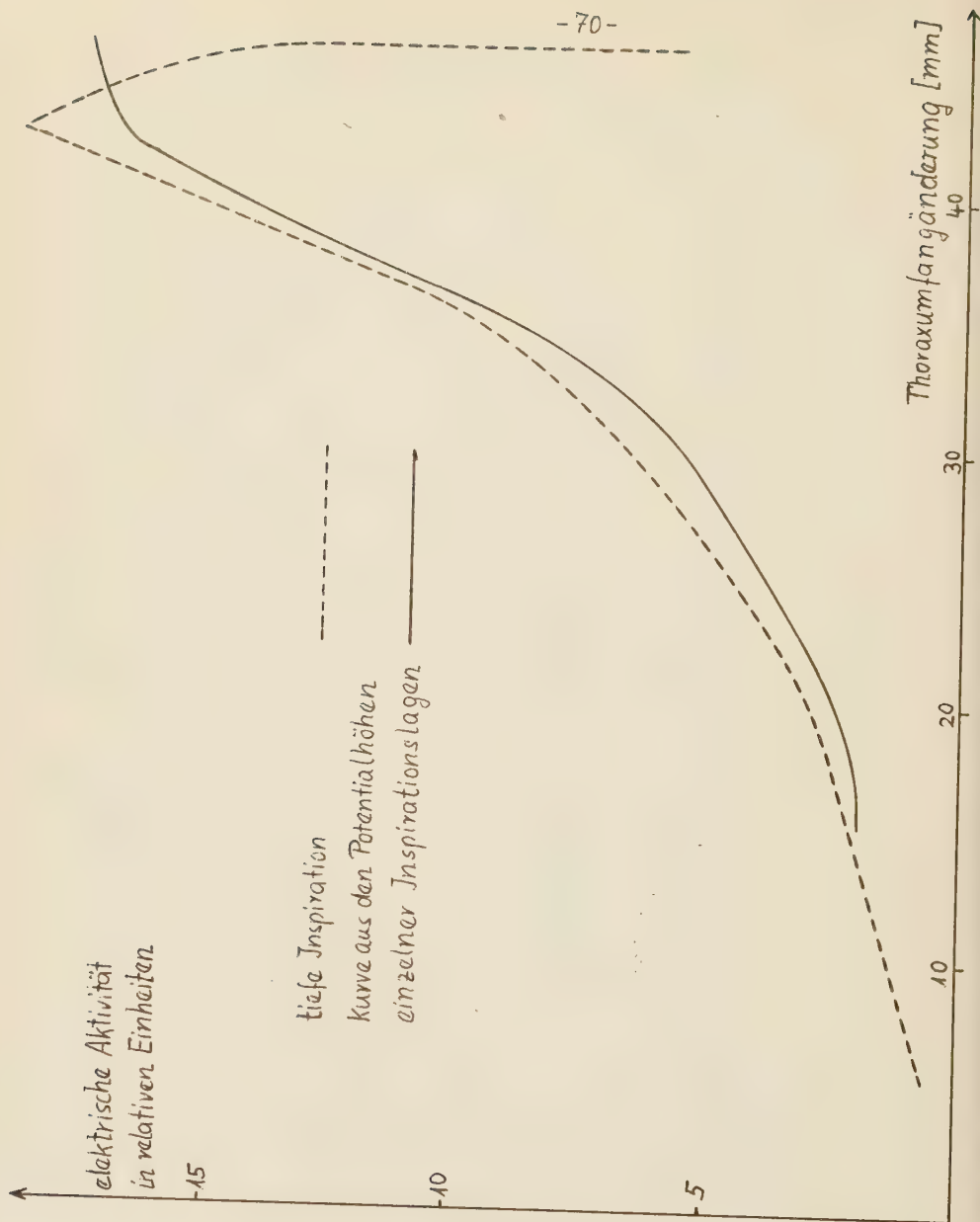


Abb. 11 zeigt die elektrische Aktivität in Beziehung zur Thoraxumfangänderung (Intercostal-Aktivität / Thoraxumfangänderung)

- a) bei einer tiefen Inspiration
- b) bei einzelnen Inspirationslagen von der Atemruhelage bis zur maximalen Inspirationslage.

(24-jährige männliche Versuchsperson)

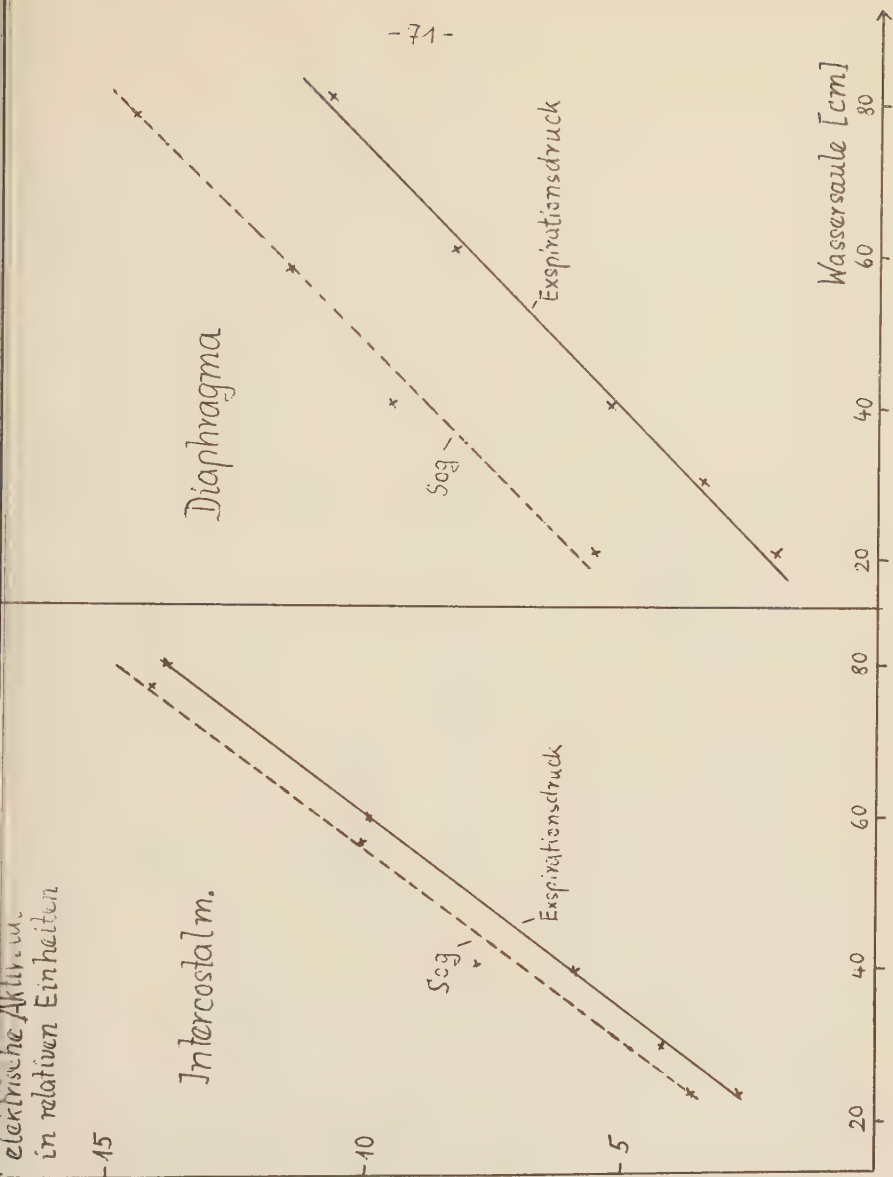


Abb.12a zeigt die elektrische Aktivität der Intercostal-muskulatur und des Diaphragma in Beziehung zu Sog bzw. Expirationsdruck, ausgeführt in der Atemruhelage.
(24-jährige männliche Versuchsperson)

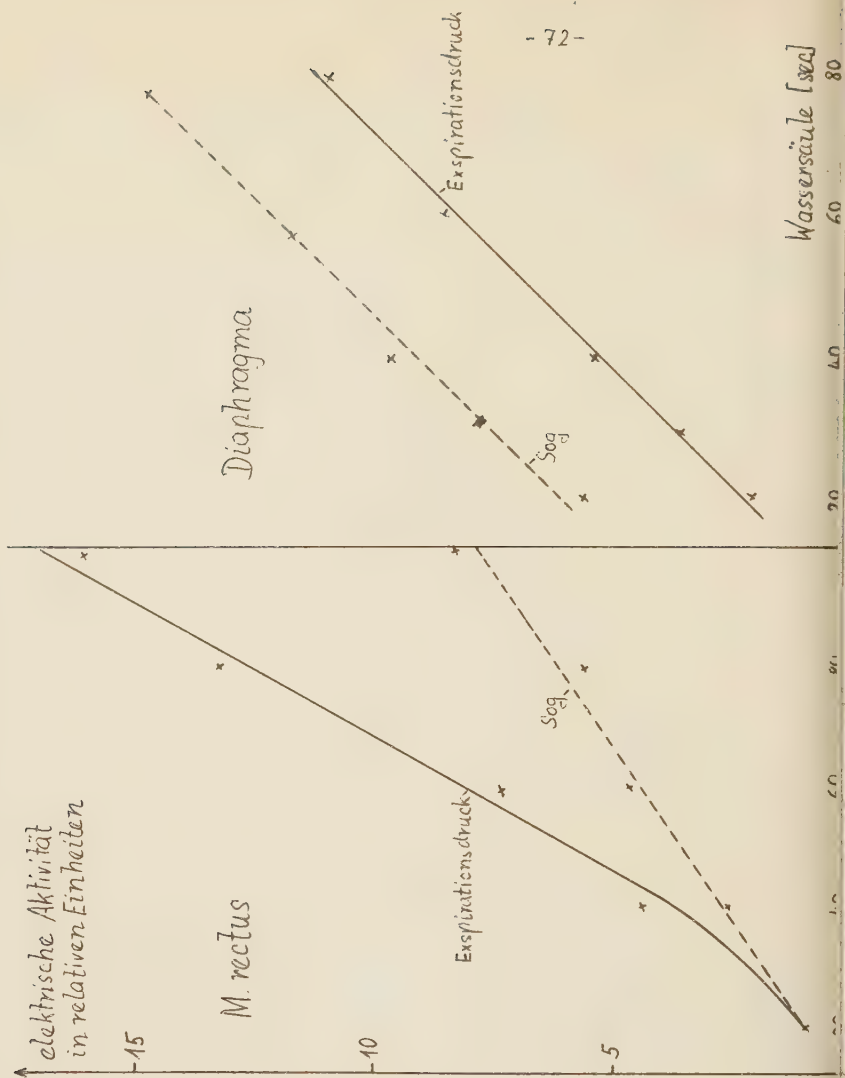


Abb. 12^b zeigt die elektrische Aktivität des M. rectus und des Diaphragma in Beziehung zu Sog bzw. Expirationsdruck, ausgeführt in der Atemruhelage. (24jährige männliche Versuchsperson)

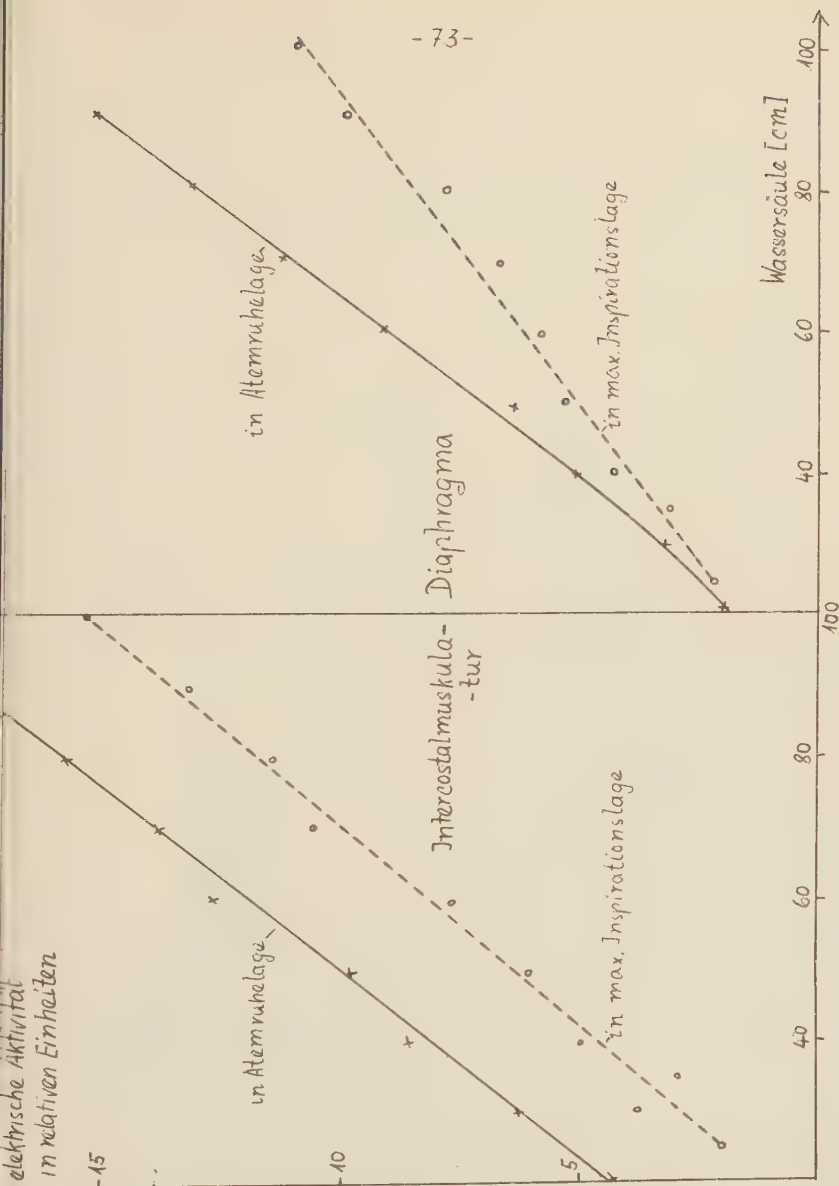


Abb.13a zeigt die elektrische Aktivität der Intercostalmuskulatur und des Diaphragma in Beziehung zum Expirationsdruck, ausgeführt a) in Atemruhelage (24-jährige männl. Versuchsp.) b) in max. Inspirationslage.

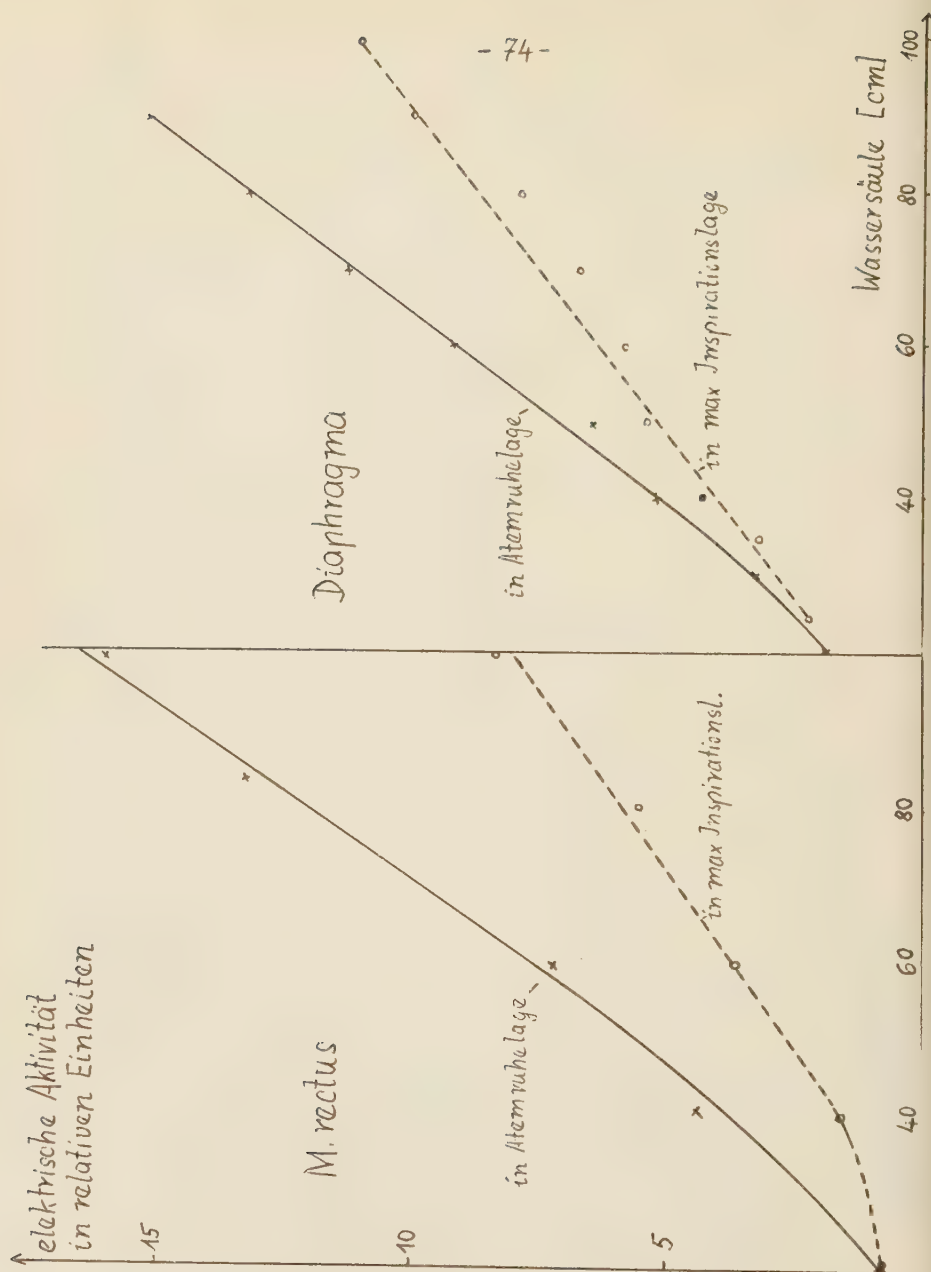


Abb. 136 zeigt die elektrische Aktivität des M. rectus und des Diaphragma in Beziehung zum Expirationsdruck, ausgeführt a) in Atemruhelage
b) in maximaler Inspirationslage.
(24-jährige männliche Versuchsperson)

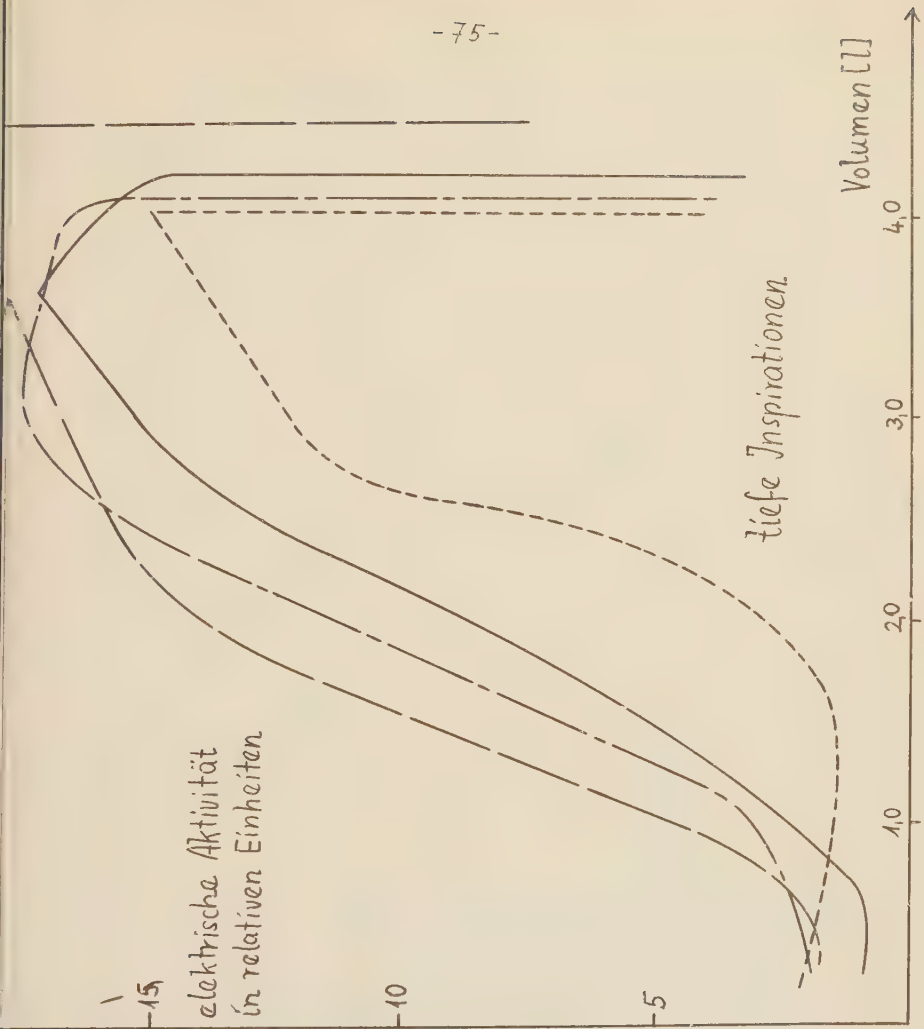


Abb.14a zeigt die elektrische Aktivität des Diaphragma bei tiefen Inspirationen unter Vorschalten verschieden großer dynamischer Widerstände. (24jährige männliche Versuchsperson)

ohne dynamischen Widerstand : -----
 0,87 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____
 1,32 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____
 1,72 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____

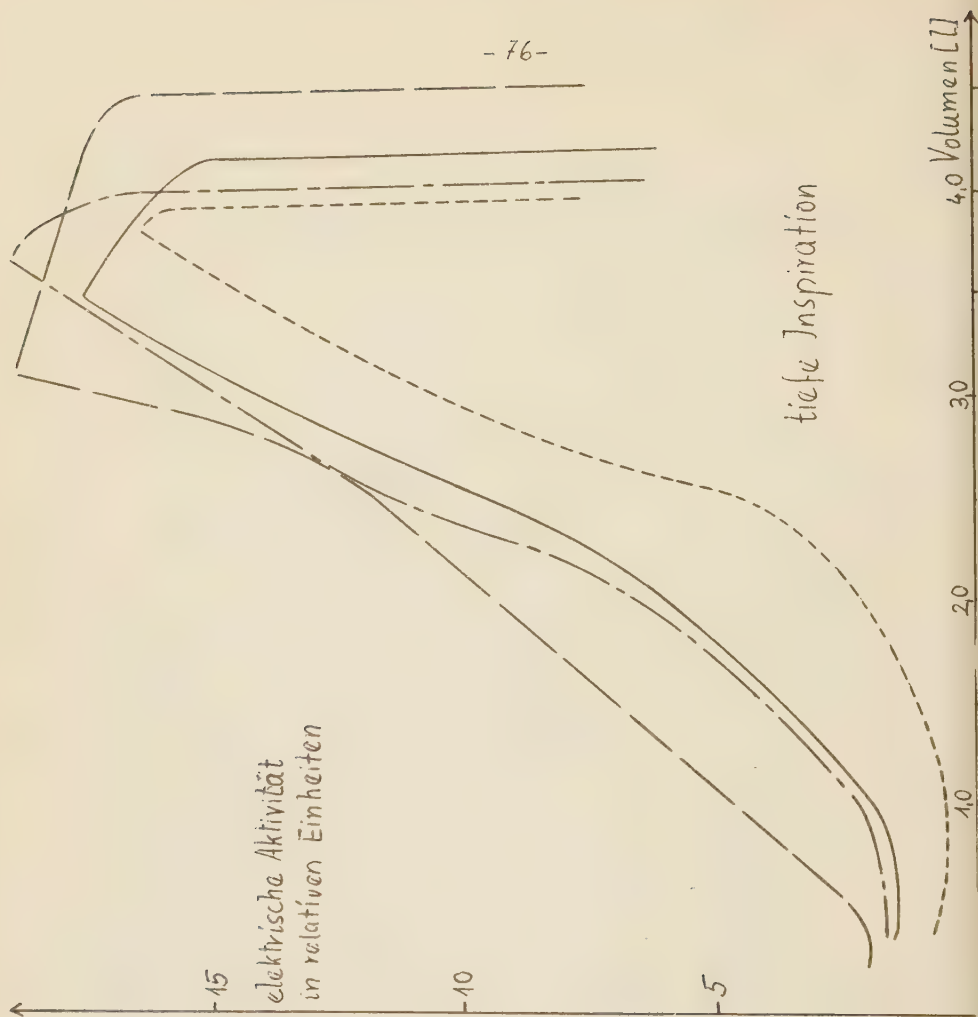


Abb. 14b zeigt die elektrische Aktivität der Interco-
stalmuskulatur bei tiefen Inspirationen unter Vor-
schalten verschieden großer dynamischer Widerstände.
(24jährige männliche Versuchsperson)

ohne dynamischen Widerstand : -----
 0,87 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____
 1,32 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____
 1,72 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____

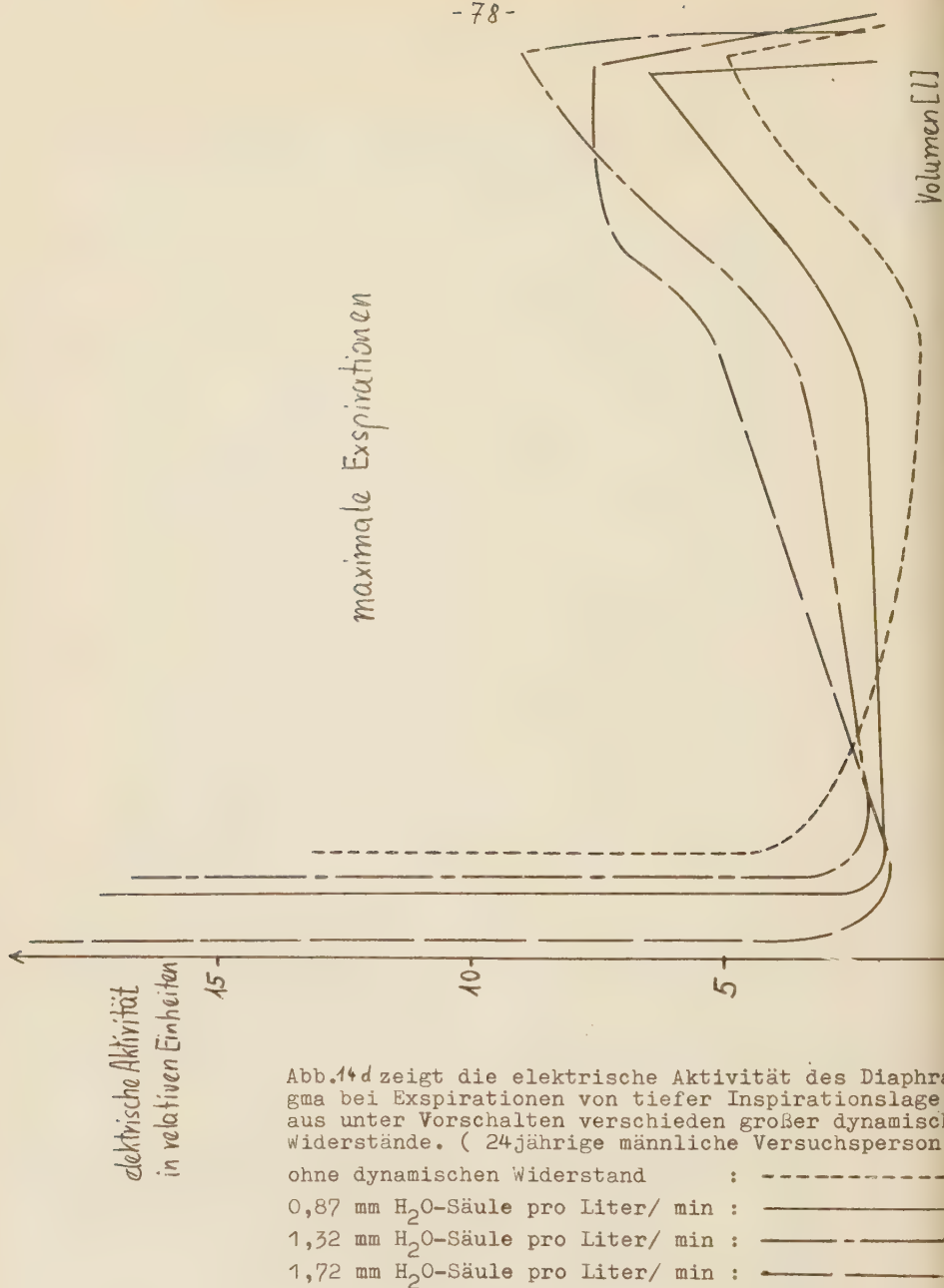
elektrische Aktivität
in relativen Einheiten

maximale Expirationen

Volumen [l]

Abb. 14c zeigt die elektrische Aktivität des Diaphragma bei Expirationen von tiefer Inspirationslage aus unter Vorschalten verschieden großer dynamischer Widerstände. (24jährige männliche Versuchsperson)

ohne dynamischen Widerstand : -----
 0,87 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____
 1,32 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____
 1,72 mm H₂O-Säule pro Liter/ min : _____



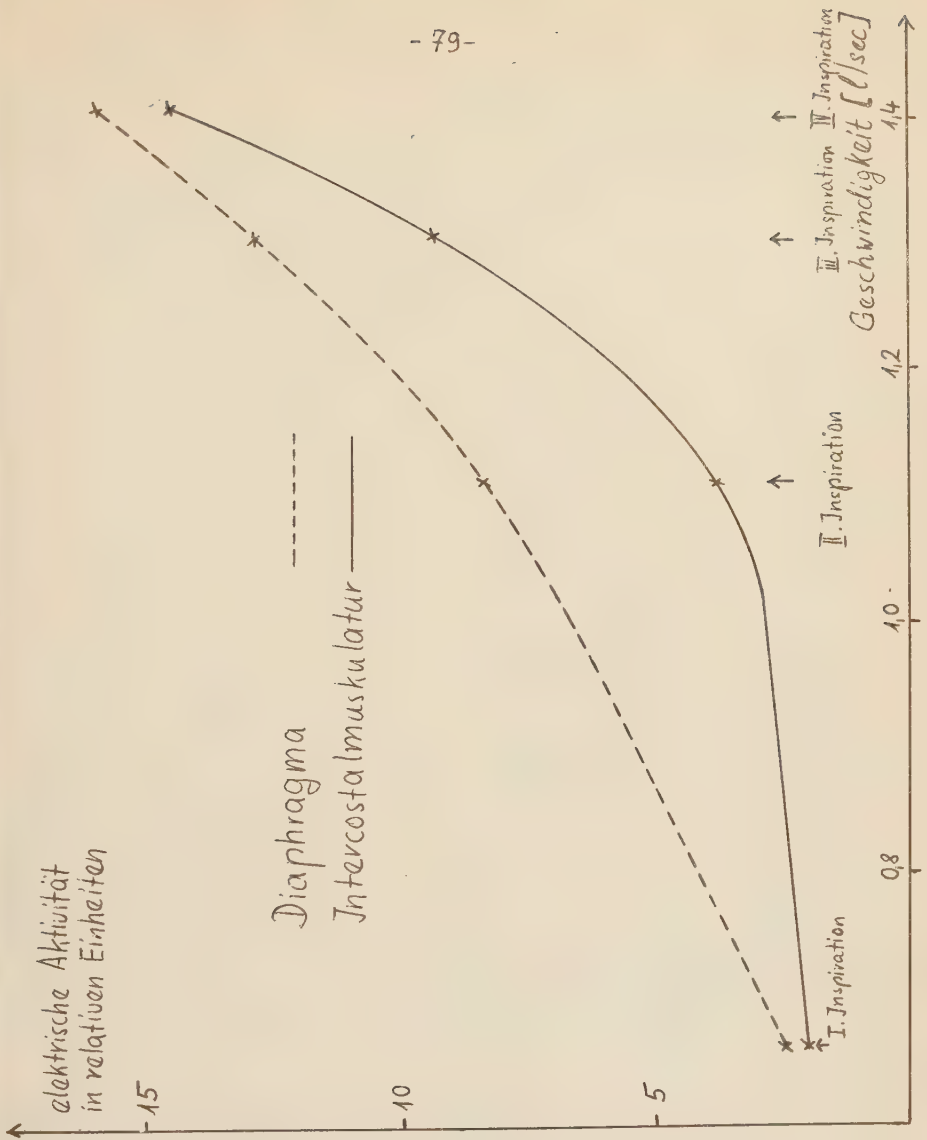


Abb. 15 zeigt die Potentialhöhen (jeweils 0,3 sec nach Potentialanstieg gemessen) von 4 tiefen Inspirationen in Beziehung zu ihrer Geschwindigkeit. Je größer die Inspirationsgeschwindigkeit in der 1. Sekunde, desto größer ist auch die Aktivitätssteigerung.

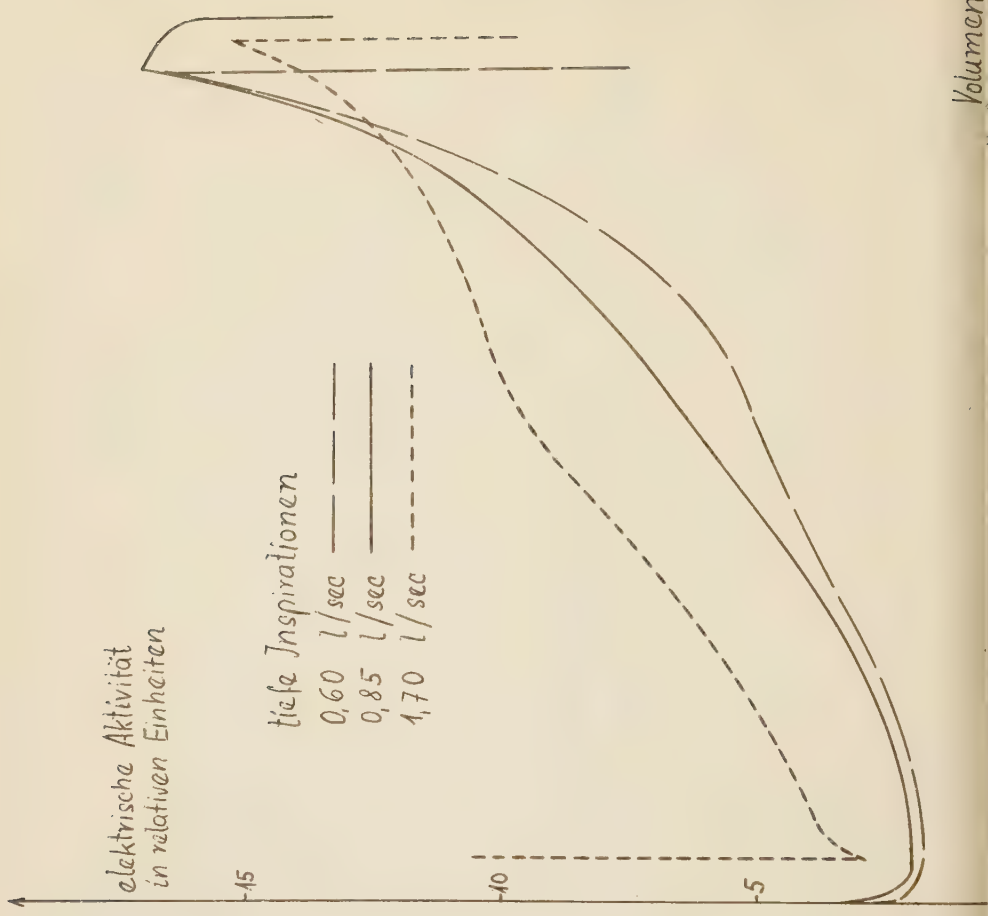


Abb. 16a zeigt die elektrische Aktivität des Diaphragma bei tiefen Inspirationen, ausgeführt mit verschiedener Atemgeschwindigkeit.
(25jährige männliche Versuchsperson)

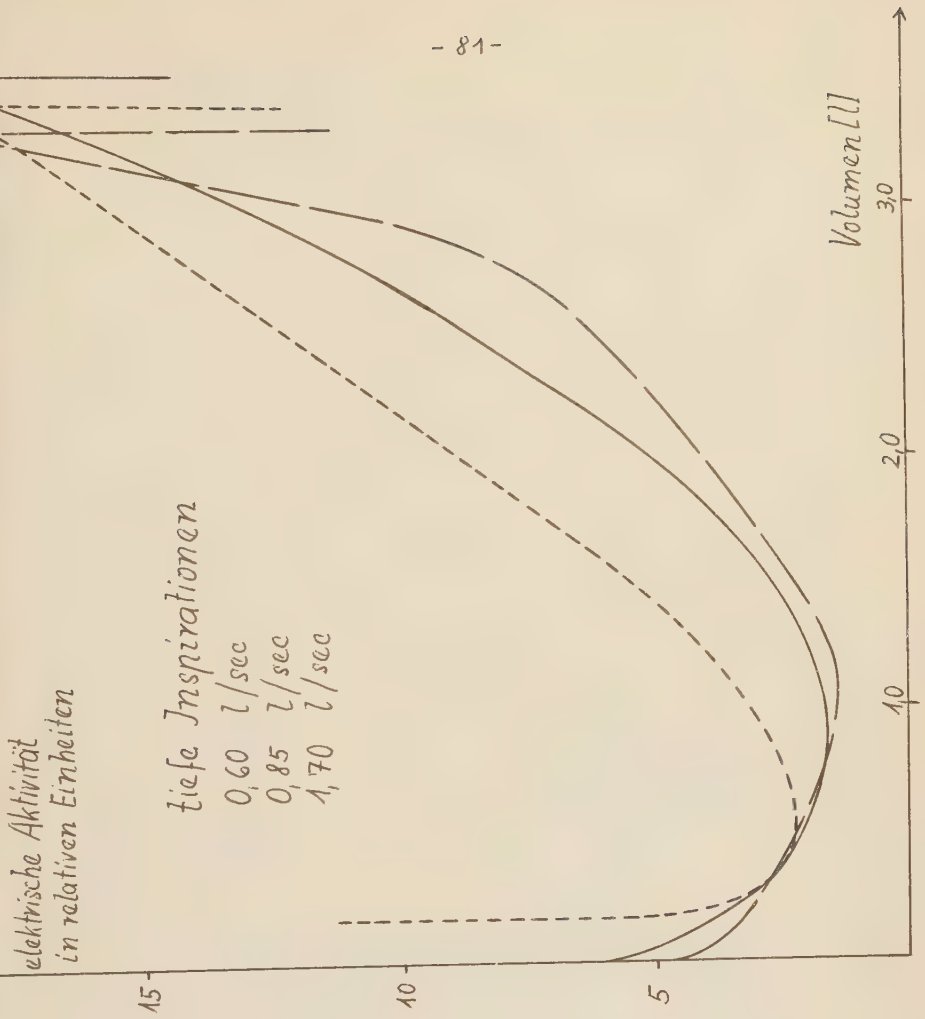


Abb. 46b zeigt die elektrische Aktivität der Inter-costalmuskulatur bei tiefen Inspirationen, ausgeführt mit verschiedener Atemgeschwindigkeit.
(25jährige männliche Versuchsperson)

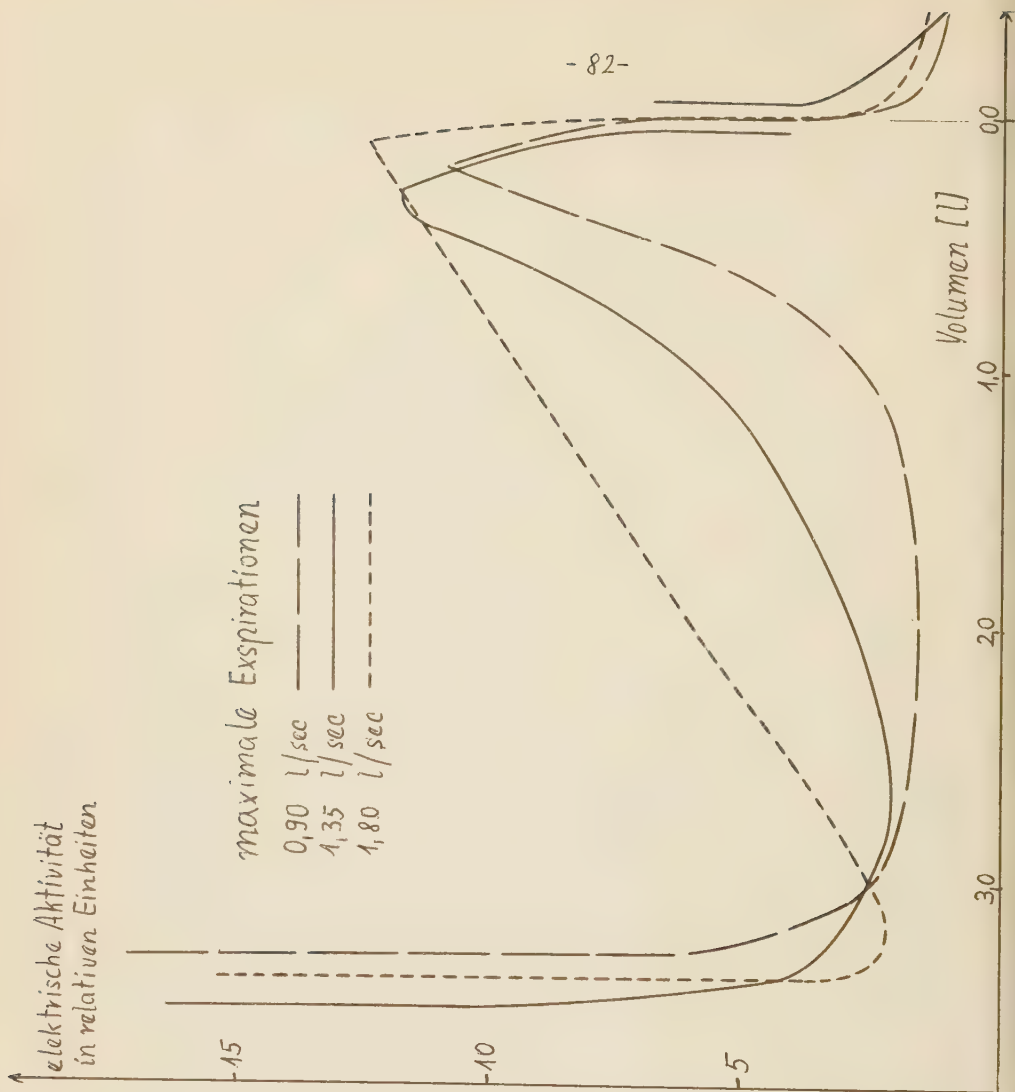


Abb. 46c zeigt die elektrische Aktivität des Diaphragma bei passiven und aktiven Expirationen, ausgeführt mit verschiedener Atemgeschwindigkeit. (25jährige männliche Versuchsperson)

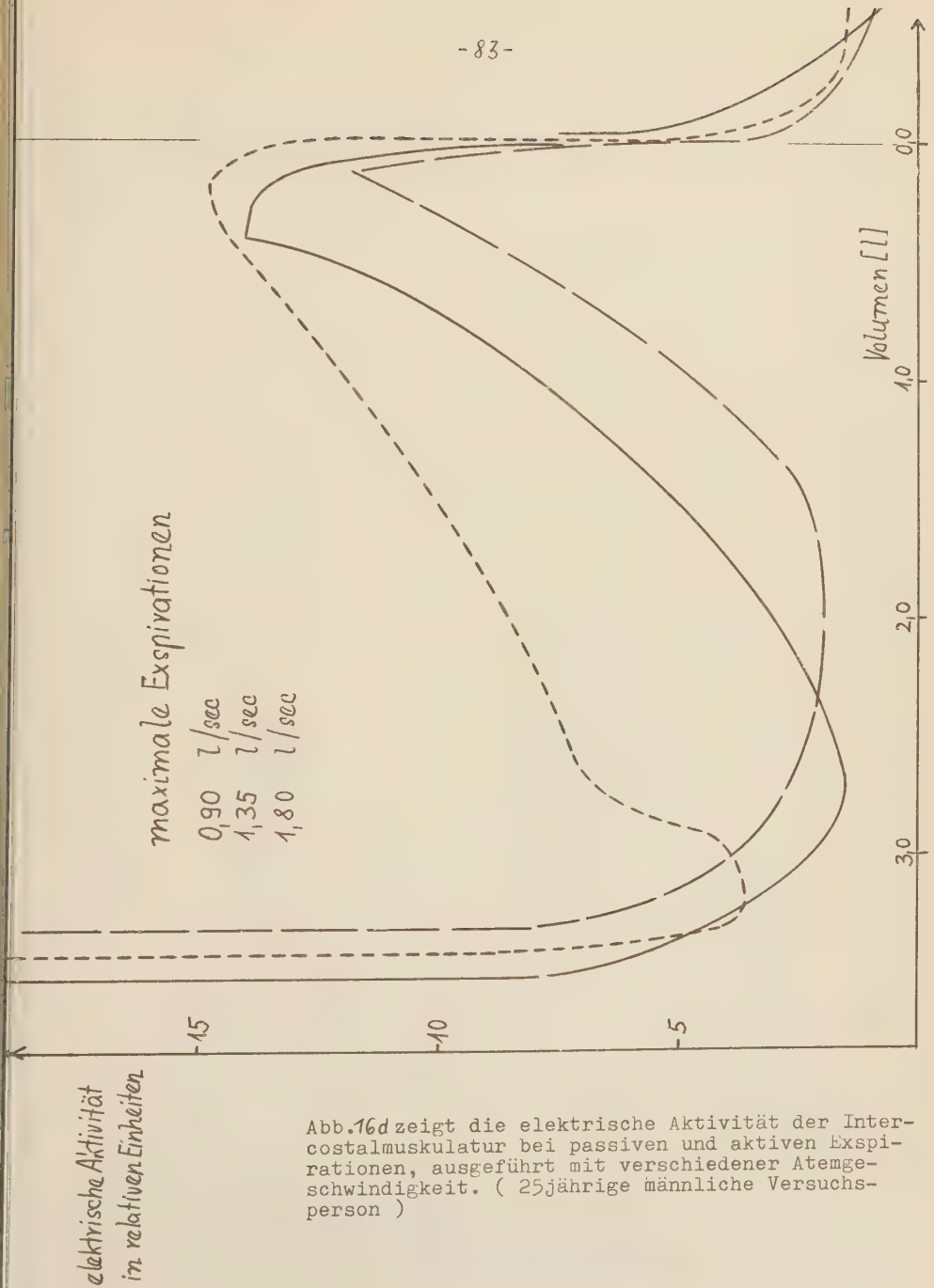


Abb. 16d zeigt die elektrische Aktivität der Inter-costalmuskulatur bei passiven und aktiven Expirationen, ausgeführt mit verschiedener Atemgeschwindigkeit. (25jährige männliche Versuchsperson)

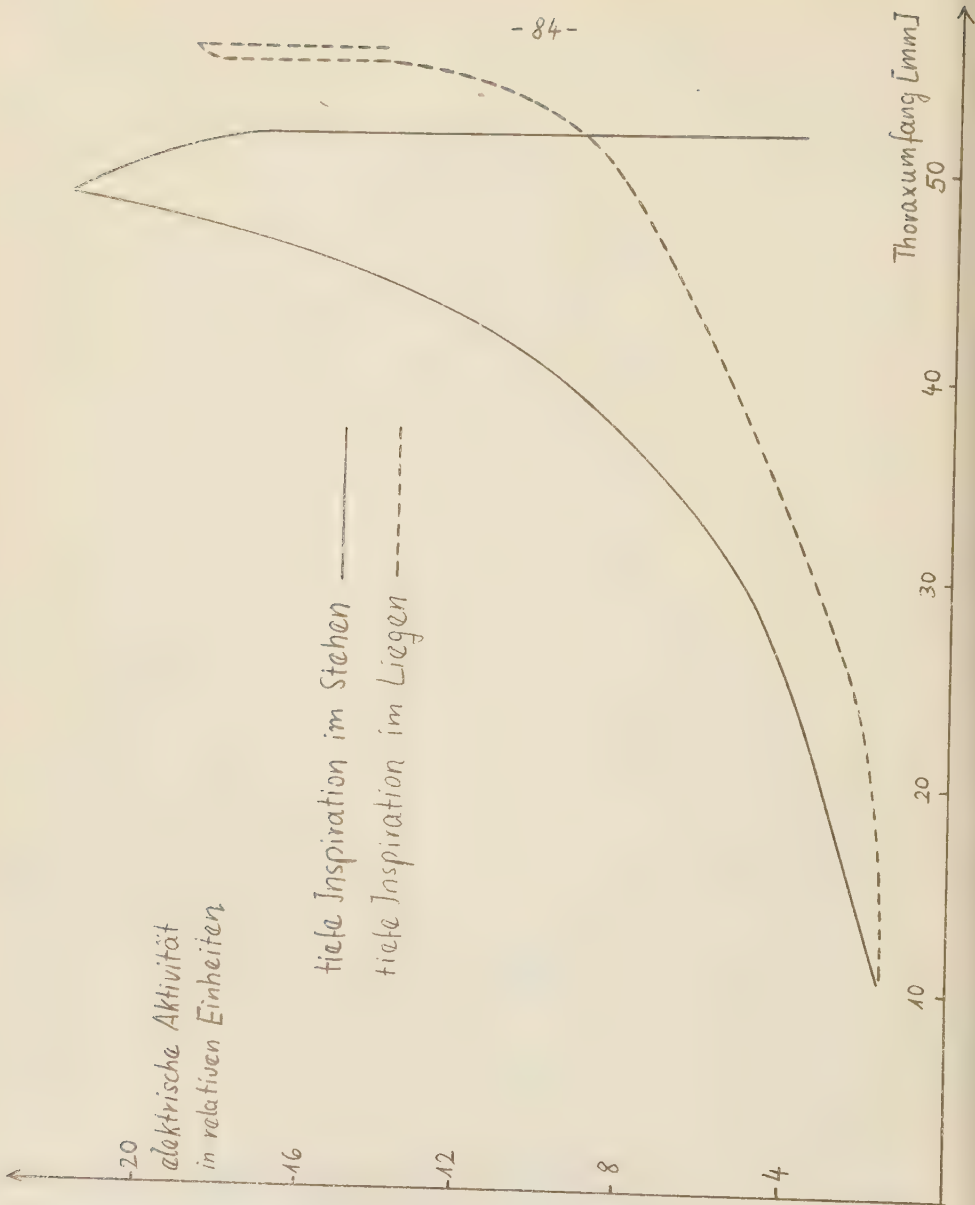


Abb. 17a zeigt die elektrische Aktivität der Inter-costalmuskulatur in Beziehung zur Volumensänderung einer tiefen Inspiration in Rückenlage und in auf-rechter Körperstellung (25jährige männliche Ver-suchsperson).

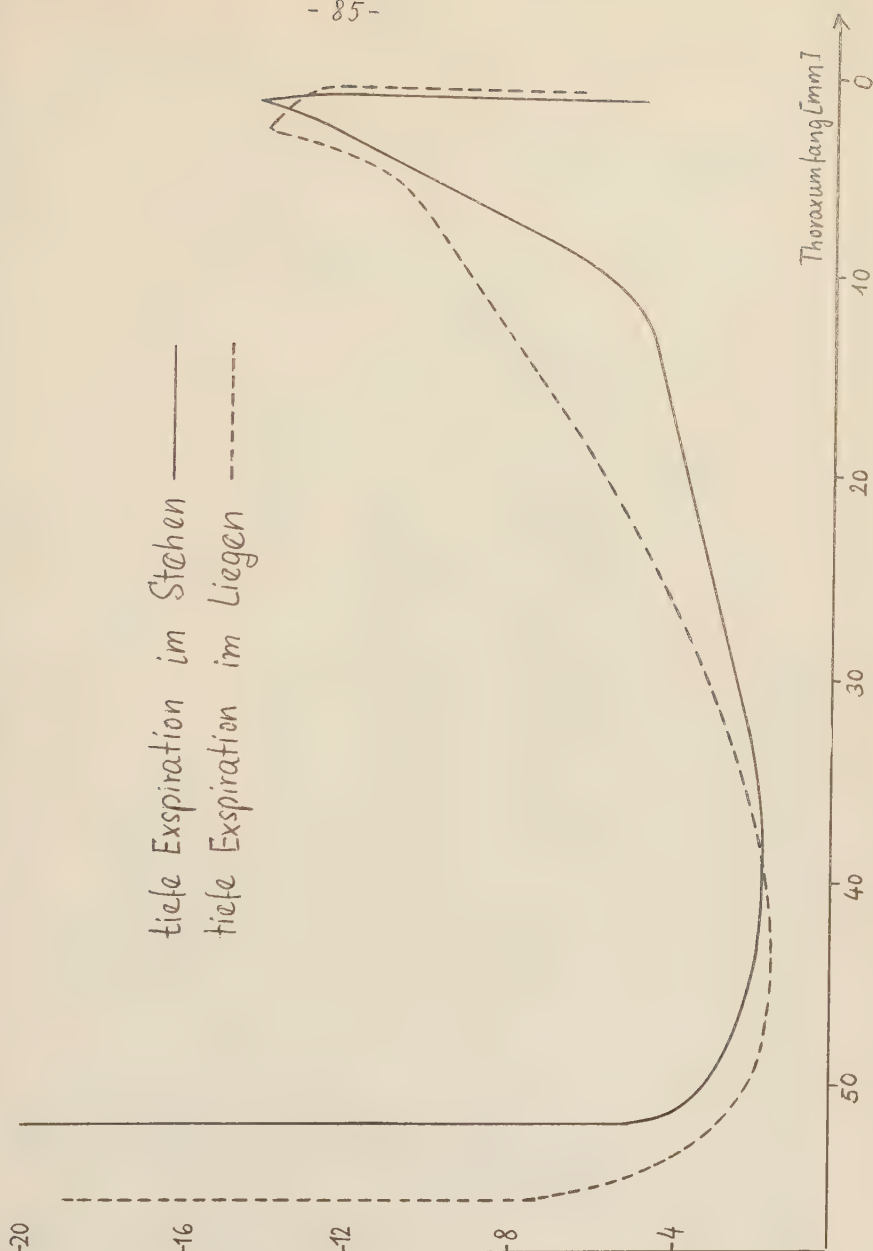


Abb. 17b zeigt die elektrische Aktivität der Interco-
stalmuskulatur in Beziehung zur Volumensänderung einer
passiven und aktiven Expiration in Rückenlage und
in aufrechter Körperstellung (25jährige männliche
Versuchsperson).

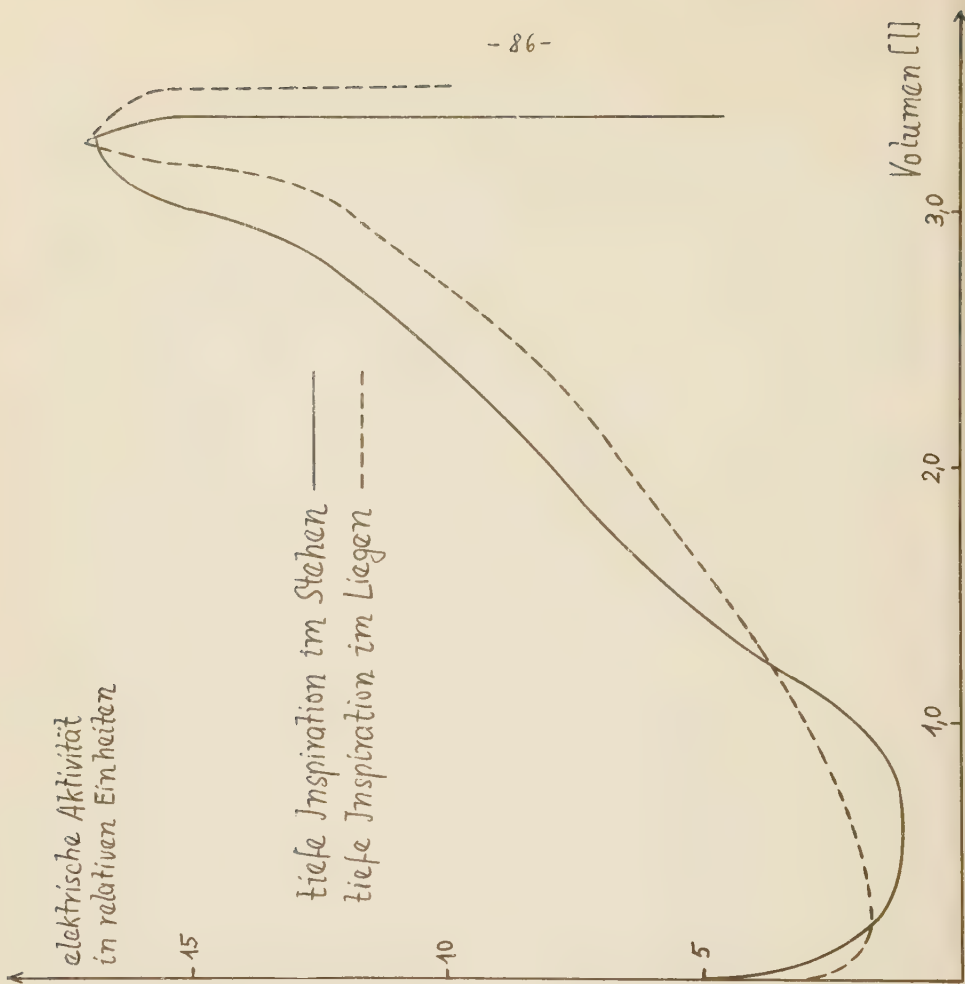


Abb. 18 zeigt die elektrische Aktivität des Diaphragma in Beziehung zur Volumensänderung einer tiefen Inspiration in Rückenlage und in aufrechter Körperstellung (22jährige weibliche Versuchsperson).

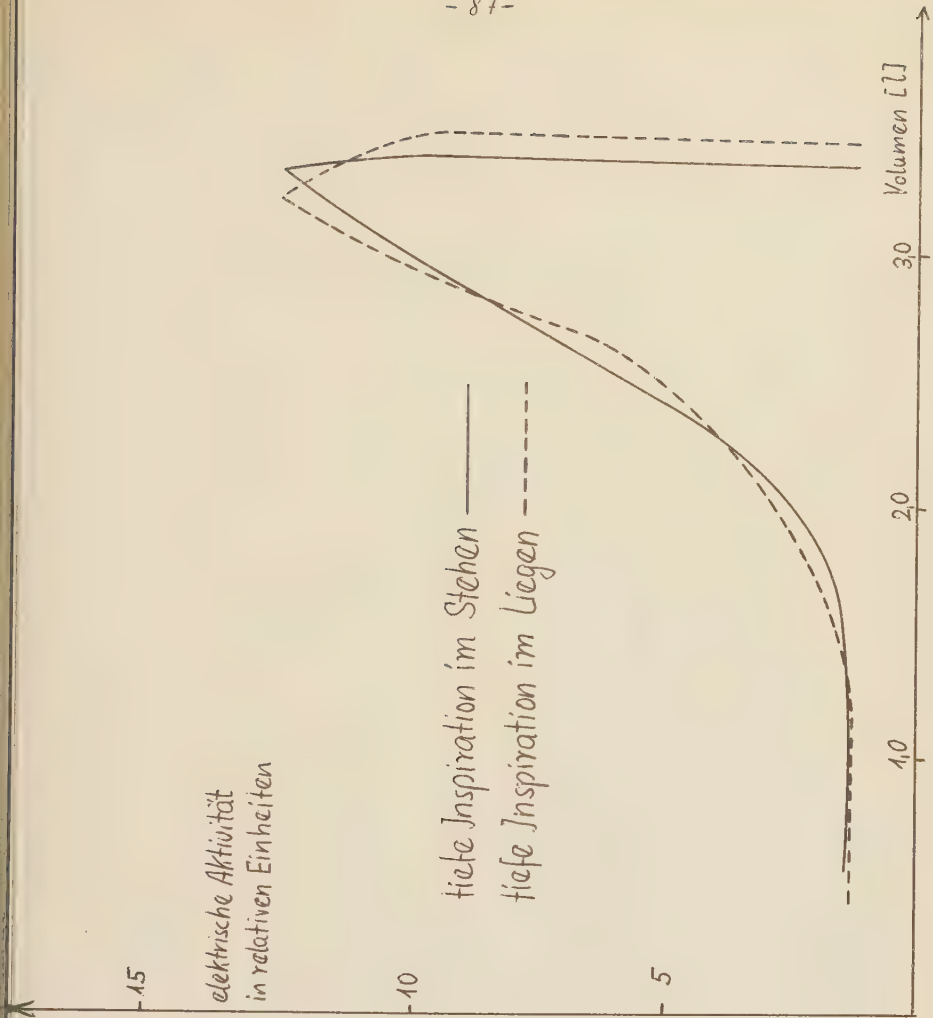


Abb. 19a zeigt die elektrische Aktivität der seitlichen Bauchwandmuskulatur in Beziehung zur Volumensänderung einer tiefen Inspiration in Rückenlage und in aufrechter Körperstellung (22jährige weibliche Versuchsperson).

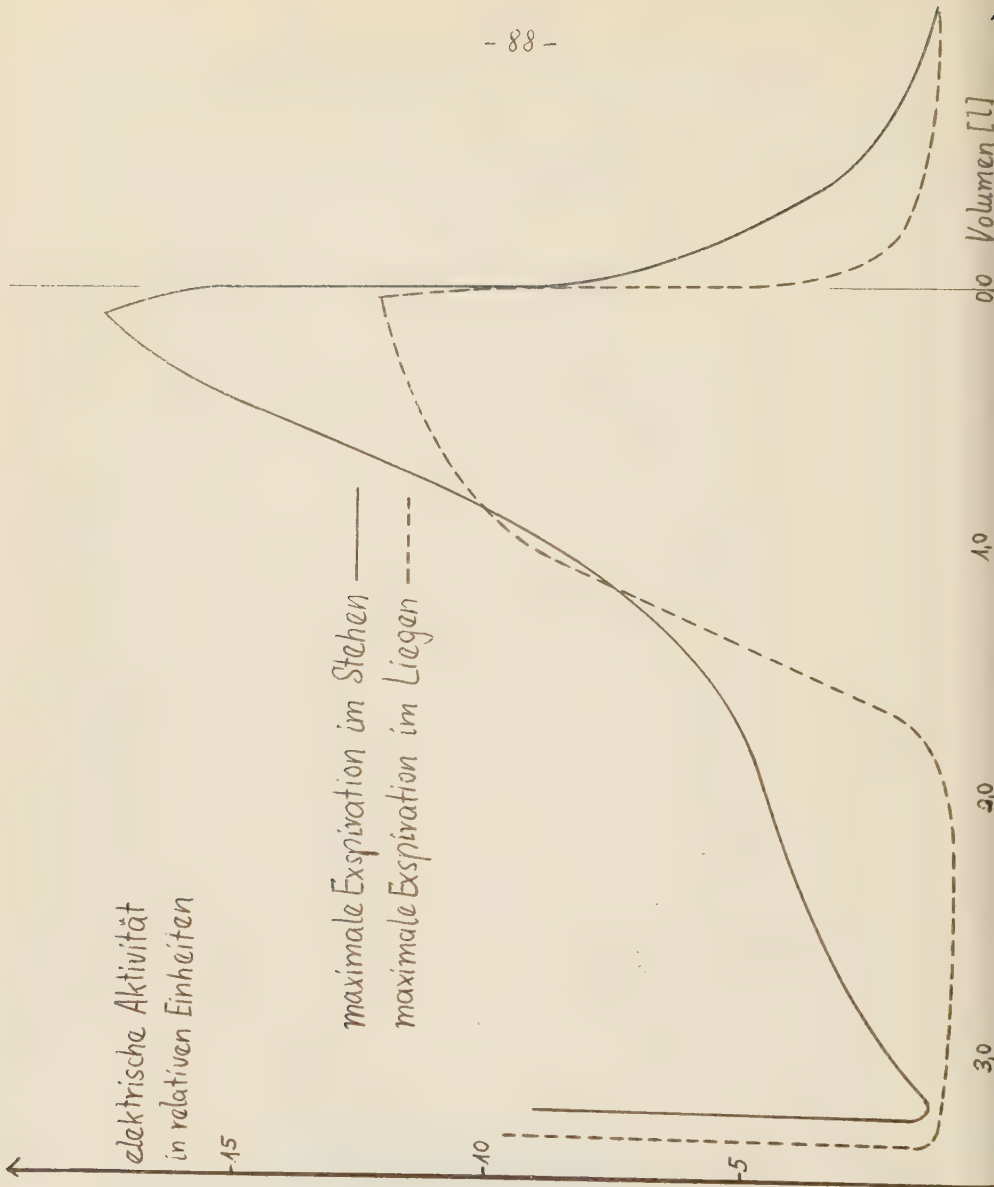
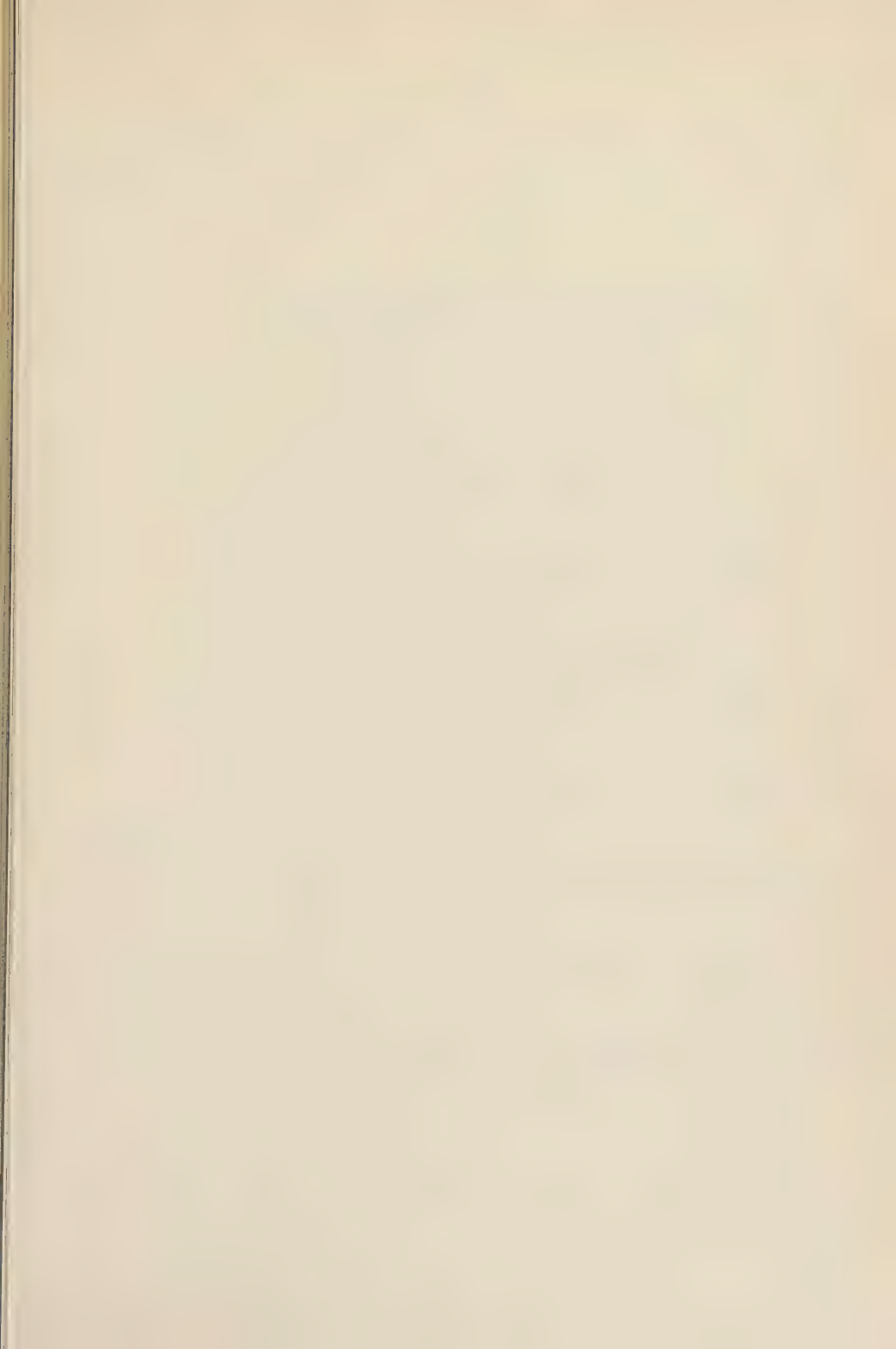


Abb. 19b zeigt die elektrische Aktivität der seitlichen Bauchwandmuskulatur in Beziehung zur Volumensänderung einer passiven und aktiven Expiration in Rückenlage und in aufrechter Körperstellung (22jährige weibliche Versuchsperson).



Literaturverzeichnis

- 1) Agostoni, E., Ant' Ambrogio, G., Del Portillo Carrasco, H.; Electromyography of the diaphragm in man and transdiaphragmatic pressure. J.Appl.Physiol., 15, 1093-1097; 1960.
- 2) Agostoni, E., et Torri, G., J.Appl.Physiol., 17, 427; 1962
- 3) Anthony, A.J.: Funktionsprüfungen der Atmung, Leipzig, Verlag A.Barth; 1937
- 4) Basmajian J.V.: Muscles Alive: their functions revealed by electromyography, Baltimore 1962.
- 5) Benninghoff, A., Goerttler K.: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Band I., München-Berlin, 1960
- 6) Bigland, B., und Lippold, O.C.J.: The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. Physiol., 123:214-224; 1954a.
- 7) Braus, H., Elze, C.: Anatomie des Menschen. Band I, 1954.
- 8) Buchthal, F.: Einführung in die Electromyographie. Urban und Schwarzenberg, München-Berlin 1958
- 9) Campbell, E.J.M.: An electromyographic study of the role of the abdominal muscles in breathing. J.Physiol., 117 : 222 : 233 ; 1952.
- 10) Campbell, E.J.M., Green, J.H.: The variations in intraabdominal pressure and the activity of the abdominal muscles during breathing; a study in man. J.Physiol. 122 : 282-290; 1953 b.
- 11) Campbell, E.J.M., and Green, J.H.; The behavior of the abdominal muscles and the intraabdominal pressure during quiet breathing and increased pulmonary ventilation: a study in man. J.Physiol 127: 423-426; 1955.
- 12) Campbell, E.J.M.: An electromyographic examination of the role of the intercostal muscles in breathing in man. J.Physiol., 129 : 12-26; 1955a
- 13) Delhez, L., Petit J.M.: Examen comparatif des modalités d'activité électrique des muscles respiratoires au moyen d'électrodes concentriques et d'électrodes de surface chez l'homme. Acta Tub. et Pneum Belg., 52, 623; 1961

- 14) Delhez,L., Bottin,R., Damoiseau,J., Petit,J.M.: Examen comparatif des électromyogrammes des piliers du diaphragme défines au moyen de trois modèles de sondes-électrodes. Intern. Journal of clinical and Experimental Electromyography, 1963.
- 15) Delhez,L., Troquet,J., Damoiseau,J., Petit,J.M.: Activité antagoniste du diaphragme á la fin de l'expiration forcée. J. de Physiol., 55, 241; 1963.
- 16) Delhez,L., Troquet,J., Damoiseau,J., Pirnay,F., Deroanne, R., Petit,J.M.: Influence des modalités d'exécution des manoeuvres d'expiration forcée et d'hyperpression thoraco-abdominale sur l'activité électrique du diaphragme. Arch.intern. Physiol.Bioch. 72, 76-93; 1964.
- 17) Dubois,P., Damoiseau,J., Troquet,J., Deroanne,R., Delhez et Petit: Contrôle radiologique de la position des électrodes exploratives de l'activité électrique du diaphragme par voie oesophagienne chez l'homme conscient. Acta Tub. Pneum. Belg. 1964.
- 18) Jmman,V.T., Ralston,H.J., Saunders,J.B., Feinstein,B. und Wright,E.M.: Relation of electromyogramm to muscular tension. Electroencephalog. und Clin. Neurophysiol., 4 : 187 - 194; 1952.
- 19) Jones,D.S., Beargie,R.J., and Pauly,J.E.: Electromyographic study of some muscles of costal respiration in man. Anat.Rec. 117 : 17 - 24 ; 1953.
- 20) Jones,D.S., and Pauly, J.E.: Further electromyographic studies on muscles of costal respiration in man. Anat. Rec. 128 : 733-746 ; 1957.
- 21) Koepke,G.H., Smith,E.M., Murphy, A.J. and Dickinson D.G.: Sequence of action of the diaphragm and intercostal muscles during respiration. I. Inspiration. Arch.Phys.Med. 39 : 426-430; 1958.
- 22) Lindemann,K., Teirich-Leube,H., Heipertz,W.: Lehrbuch der Krankengymnastik. BdIV., Stuttgart, Georg Thieme - Verlag.
- 23) Lippold,O.C.J.: The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. J. Physiol., 117 : 492-499; 1952.
- 24) Müller-Seifert, H.v.Kress: Taschenbuch der medizinisch-klinischen Diagnostik, München, Verlag von Bergmann 1962

- 25) Murphy, A.J., Koepke, G.H., Smith, E.M. and Dickinson, D.G.: Sequence of action of the diaphragm and intercostal muscles during respiration. II. Expiration. Arch. Phys. Med., 40 : 337-342; 1959.
- 26) Petit, J.M., Milic-Emili, G. and Delhez, L.: Role of the diaphragm in breathing in conscious normal man: an electromyographic study. J. Appl. Physiol., 15 : 1101-1106; 1960.
- 27) Petit, J.M., Damoiseau, J., Troquet, J., Delhez, L., Deroanne, R., Rousseau, M.C.: Influence des manoeuvres de inspiration et de expiration forcé sur la position ventilatoire (étude mecanique et electromyographique) 1960.
- 28) Rauber, Kopsch: Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. Band I., Stuttgart, Thieme-Verlag 1955.
- 29) Rohrer, F.: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Band II. Berlin, Springer-verlag 1925.
- 30) Schütz, E.: Physiologie, Urban und Schwarzenberg, München 1958.

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 10.Juni 1941 als Sohn des Regierungsdirektors Dr.Kurt Michl und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Kaiser in Eger geboren. Nach der Aussiedlung im Jahre 1945 ließen sich meine Eltern in Endorf (Oberbayern) nieder. Dort besuchte ich die ersten Jahre der Volksschule, nach der Versetzung meines Vaters nach Wertingen (Schwaben) den 5.Jahrgang der dortigen Volksschule. Anschließend studierte ich am Humanistischen Gymnasium bei St.Stephan in Augsburg von 1951 - 1960. Nach bestandener Reifeprüfung entschloß ich mich für das Medizinstudium an der Ludwig Maximilian-Universität in München. Die ärztliche Vorprüfung legte ich im Wintersemester 1963/64, die ärztliche Prüfung im Sommer 1967 ab. Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit begann ich im Wintersemester 1964/65.

Wolfgang Michl

Herrn Professor v. B r a u n b e h r e n s bin ich für die Übernahme des Koreferates zu großem Dank verpflichtet.

Herrn Priv. Dozent Dr. med. D r e x e l und Herrn Dipl.-Phys. D i r n a g l möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Arbeitsplatzes und der Myo-integratoren, sowie für die freundliche Beratung und Unterstützung bei der Bewältigung der mannigfachen Probleme, die sich im Zusammenhang mit der Ausführung der Versuche ergaben, herzlichen Dank sagen.

